

CORELA

CORELA

CORELA vježbe

Korisnički priručnik





Sadržaj

I	Uvod	5
II	Veličine strujnog kruga.....	6
	1. Teorijski zadaci (svi učenici).....	6
	2. Proračun električnih veličina (učenik 1)	7
	2.1 Serijski spoj otpora.....	7
	2.2 Paralelni spoj otpora	9
	2.3 Otpori u serijsko – paralelnoj kombinaciji	11
	2.4 Usporedba rezultata	14
	3. Simulacija pomoću edukativne platforme CORELA (učenik 2)	14
	3.1 Simulacija serijskog strujnog kruga.....	14
	3.2 Simulacija paralelnog električnog kruga	21
	3.3 Simulacija serijsko – paralelnog kruga	22
	3.4 Usporedba rezultata	22
	4. Mjerenje električnih veličina (učenik 3)	23
	4.1 Mjerenje električnog otpora	23
	4.2 Otpori u serijskom strujnom krugu	24
	4.3 Otpori u paralelnom električnom krugu	26
	4.4 Električni krug sa serijsko – paralelnom kombinacijom otpora	28
	4.5 Usporedba rezultata	30
III	Mjerenje impedancije	31
	1. Uvod	31
	2. Teorijski zadaci (svi učenici).....	32
	3. Izračunavanje impedancije (učenik 1)	33
	3.1 Izračun.....	33
	3.2 Usporedba rezultata	35
	4. Određivanje impedancije simulacijom (učenik 2)	35
	4.1 Aktiviranje vježbe	35
	4.2 Odabir vrste strujnog kruga i očitavanja rezultata	36
	4.3 Uspoređivanje rezultata.....	38
	5. Mjerenje impedancije (učenik 3).....	38
	5.1 Postupak.....	39
	5.2 Usporedba rezultata	41
	6. Postupak upisivanja i slanja podataka na obrazovnu platformu.....	41



IV	Statička strujno – naponska karakteristika ispravljačke diode	47
1.	Uvod	47
2.	Teorijski zadaci (svi učenici).....	48
3.	Proračun vrijednosti struje diode 1N4001 ovisno o naponu napajanja (Učenik 1).....	48
4.	Simulacija mjerenja statičkih karakteristika dioda pomoću implementiranih funkcija u Corela platformi (Učenik 2)	51
5.	Praktična realizacija i mjerenje (Učenik 3)	56
6.	Dodatak 1: Kataloške vrijednosti za diode implementirane na platformi.....	61
V	Logičke funkcije	62
1.	Teorijski zadaci (<i>student 1</i>)	62
1.1	Realizacija logičke funkcije.....	62
1.2	Realizacija logičke funkcije korištenjem NAND sklopa	66
1.3	Pojednostavljenje logičke funkcije korištenjem zakona Booleove algebre	67
1.4	Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom Veitch dijagrama	69
2.	Simulacija u edukacijskoj platformi CORELA (učenik 2)	71
2.1	Realizacija logičke funkcije.....	71
2.2	Realizacija logičke funkcije korištenjem NAND sklopa	74
2.3	Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom zakona Booleove algebre.....	76
2.4	Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom Veitch dijagrama	78
3	Laboratorijska vježba (učenik 3)	80
3.1	Realizacija logičke funkcije.....	80
3.2	Realizacija logičke funkcije primjenom NAND sklopa.....	84
3.3	Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom zakona Booleove algebre	85
3.4	Pojednostavljenje logičke funkcijepomoću Veitch dijagrama	87
VI	PWM kontrola DC motora.....	90
1.	Uvod	90
2.	Izračun parametara PWM signala (učenik 1).....	90
2.1	Usporedba rezultata	92
3.	Simulacija parametara PWM signala (učenik 2)	90
3.1	Usporedba rezultata	95
4.	Praktična realizacija i mjerenje (učenik 3).....	96
4.1	Usporedba rezultata	98
5.	Procedura za upis podataka i slanje na edukacijsku platformu	99
VII	Prilagodba trošila na maksimalnu snagu izvora.....	103



1. Uvod	103
2. Proračun prenesene snage (učenik 1)	104
2.1 Usporedba rezultata	105
3. Simulacija prijenosa maksimalne snage (učenik 2)	105
3.1 Usporedba rezultata	107
4. Praktična realizacija i mjerenje (učenik 3).....	108
4.1 Usporedba rezultata	110
5. Procedura za upis podataka i slanje na edukacijsku platformu	110



I Uvod

Nastanak ove platforme je rezultat Erasmus + CORELA projekta. Cilj projekta je bio razviti zajedničku platformu za srednjoškolsko tehničko strukovno obrazovanje (VET). CORELA platforma je prošireni virtualni udaljeni laboratorij (RVL) te je posebno razvijena za elektrotehničke obrazovne institucije, višeg obrazovanja. Platforma nudi kolaboraciju tj. suradnju s drugim učenicima ili grupama u smislu razmjene znanja, iskustva, te usporedbi dobivenih rezultata koristeći se različitim metodologijama. Konačne rezultate ili međurezultate možemo provjeriti i postavljeni su na Massive Open Online Course (MOOC) platformi. MOOC platforma može prezentirati rezultate kao zadatak vidljiv svim učenicima, kao poveznicu na dalju raspravu, ili kao privatnu poruku ili pojedinačni zadatak s konačnim rezultatima koje može vidjeti samo nastavnik.

Predstavljena platforma može raditi u tri različita moda. U prvom modu platforma dopušta tj. radi analitičke izračune. Analitički izračun je orijentiran na teorijski dio zadatka bez uključivanja stvarnih parametara i elemenata izračuna. Teorijski dijelovi zadataka su osnova za općenita znanja u određenom području, te su od vitalnog značaja za daljnje razumijevanje i složenost problema. U drugom modu uvodi se simulacijsko okruženje tj. mogućnost izvođenja simulacija. Mogućnost izvođenja simulacija je logičan sljedeći korak nakon postavljanja teorijskih vježbi. Simulacija omogućava testiranje različitih realnih scenarija, kao što su odstupanja parametara, parametri i mjerenja odstupanja neusklađenih modela itd.. Simulacija se i dalje temelji na analitičkoj osnovi, ali može identificirati ili približno ukazati na stvarne učinke i rezultate. Simulacija je međukorak između analitičkih izračuna i stvarnih eksperimenata sa stvarnim komponentama tj. sastavnicama, te mjernim alatima. U trećem modu platforme rade se eksperimenti u realnom vremenu sa komponentama tj. sastavnicama mjerenjima u realnom mjerenju. Glavni uređaj za prikupljanje podataka je DAQ kartica. DAQ se može koristiti kao digitalno i analogno ulazno/izlazno sučelje. Platforma nudi bezbroj veza na različite alate za mjerenja. Platforma također podržava i standardnu serijsku komunikaciju koja širi funkcionalnost na prilagođavanje eksperimentima i opremi za mjerenja. Svi podatci dobiveni u realnom vremenu mogu biti pohranjeni za kasniju analizu i ispitivanje. Sva tri operacijska moda platforme možemo spojiti na MOOC sustav gdje će svi podatci i parametri proračuna, simulacije i/ili eksperimenti provedeni u realnom vremenu biti sačuvani. S obzirom na područje i metodologiju poučavanja prikazani rezultati mogu biti korišteni za suradničko učenje i interakciju s različitim učeničkim ili studentskim grupama, ili jednostavno kao platforma s automatsko prikupljenim podatcima koju će moći koristiti nastavnici kao vid kontrole.

U nastavku danog teksta predstavljeno je šest vježbi iz različitih područja elektrotehnike u tri načina - analitičko računanje, simulacija na platformi i eksperiment. Također, postupak prezentacije rezultata na MOOC platformi uključen je u svaku vježbu. Za bolje upoznavanje s tri načina rada, video materijali su uključeni na kraju svake vježbe.



Dragi učenici/studenti,

Na početku rješavanja teorijskih zadataka i prije praktičnog rada pažljivo pročitajte upute. Slijedite upute i savjete sigurnosti na radu.

II Veličine strujnog kruga

1. Teorijski zadaci (svi učenici)

1.1) Odredite vrijednosti tri otpornika prema kombinaciji boja otpornika.

Otpornik 1 (R1): smeđa, zelena, crna, smeđa, crvena

Otpornik 2 (R2): smeđa, crna, crna, smeđa, crvena

Otpornik 3 (R3): zelena, crna, smeđa, crvena

Tablica 1: Vrijednosti električnog otpora prema to bojama

otpornik	numerička vrijednost *	električni otpor R [Ω]	apsolutna pogreška p [Ω]	minimalni otpor R_{min} [Ω]	maksimalni otpor R_{max} [Ω]
R_1	$1\ 5\ 0 \times 10\ \Omega \pm 2\%$	$1500\ \Omega$	$30\ \Omega$	$1470\ \Omega$	$1530\ \Omega$
R_2	$1\ 0\ 0 \times 10\ \Omega \pm 2\%$	$1000\ \Omega$	$20\ \Omega$	$980\ \Omega$	$1020\ \Omega$
R_3	$5\ 0 \times 10\ \Omega \pm 2\%$	$500\ \Omega$	$10\ \Omega$	$490\ \Omega$	$510\ \Omega$

*numerička vrijednost:

figure_figure_figure x decade [Ω] +/- tolerance [%] or figure_figur ex decade [Ω] +/- tolerance [%]

1.2) Opišite Ohmov zakon (definicija) i napišite jednadžbu (formulu), koja matematički ilustrira Ohmov zakon.

Električna struja koja prolazi kroz električni otpor izravno je proporcionalna električnom naponu na otporu.

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

1.3) Opišite karakteristike serijskog električnog kruga. Zapišite matematičke jednadžbe koje ilustriraju opisane karakteristike.

1.4) Opiši karakteristike paralelnog električnog kruga. Zapišite matematičke jednadžbe koje ilustriraju opisane karakteristike.



1.5) Što je petlja u električnoj mreži? Opišite Kirchhoffov drugi zakon i ilustrirajte ga matematičkom jednačinom.

1.6) Što je čvor u električnoj mreži? Opiši prvi Kirchhoffov zakon i ilustriraj ga matematičkom jednačinom.

1.7) Kako se mjeri električni napon?

a) Imenuj mjerni instrument!

b) Opišite spajanje mjernog instrumenta u električni krug!

c) Nacrtajte shemu spajanja instrumenta.

1.8) Kako se mjeri električna struja?

a) Imenuj mjerni instrument!

b) Opišite spajanje mjernog instrumenta u električni krug!

c) Nacrtajte shemu spajanja instrumenta.

1.9) Kako se mjeri električni otpor?

a) Imenuj mjerni instrument!

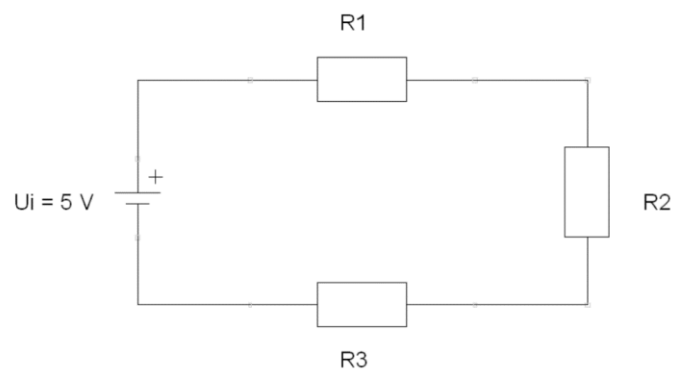
b) Opišite spajanje mjernog instrumenta u električni krug!

c) Nacrtajte shemu spajanja instrumenta.

2. Proračun električnih veličina (učenic 1)

2.1 Serijski spoj otpora

2.1.1) Tri su otpora serijski spojena na izvor istosmjernog napona. Shema električnog kruga prikazana je na slici 2.1.



Slika 2.1: Serijski spoj otpora.

2.1.2) Izračunaj nadomjesni otpor R_N , minimalni ukupni otpor R_{Nmin} i maksimalni ukupni R_{Nmax} na temelju bojom kodiranih vrijednosti pojedinih otpora!



a) Nadomjesni tpor R_N :

$$R_N = R_1 + R_2 + R_3 = 1500 \Omega + 1000 \Omega + 500 \Omega = 3000 \Omega$$

b) Minimalni ukupni otpor R_{Nmin} :

$$R_{Nmin} = R_{1min} + R_{2min} + R_{3min} = 1470 \Omega + 980 \Omega + 490 \Omega = 2940 \Omega$$

c) Maksimalni ukupni otpor R_{Nmax} :

$$R_{Nmax} = R_{1max} + R_{2max} + R_{3max} = 1530 \Omega + 1020 \Omega + 510 \Omega = 3060 \Omega$$

2.1.3) Napon istosmjernog izvora U_i iznosi 5 V. Izračunaj vrijednost struje strujnog izvora I_i .

$$U_i = 5 \text{ V DC}$$

$$I_i = \frac{U_i}{R_N} = \frac{5 \text{ V}}{3000 \Omega} = 0,001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

2.1.4) Izračunajte vrijednosti električnih veličina u električnom krugu. Ispunite tablicu 2.1; zapišite izračunate vrijednosti svakog otpora.

Napomena: Pri izračunavanju električnih veličina zapišite odgovarajuće jednadžbe (formule).

Tablica 2.1: Izračunate vrijednosti električnih veličina u serijskom električnom krugu.

* Kopirajte utvrđene vrijednosti iz tablice 1.

otpor	električna struja I [mA]	električni napon U [V]	električni otpor R_m [Ω] *
Otpornik 1			
Otpornik 2			
Otpornik 3			

$$I_1 = I_i = 0,00166 \text{ A} \rightarrow U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1500 \Omega \cdot 0,00166 \text{ A} = 2,5 \text{ V}$$

$$I_2 = I_i = 0,00166 \text{ A} \rightarrow U_2 = R_2 \cdot I_2 = 1000 \Omega \cdot 0,00166 \text{ A} = 1,66 \text{ V}$$

$$I_3 = I_i = 0,00166 \text{ A} \rightarrow U_3 = R_3 \cdot I_3 = 500 \Omega \cdot 0,00166 \text{ A} = 0,84 \text{ V}$$

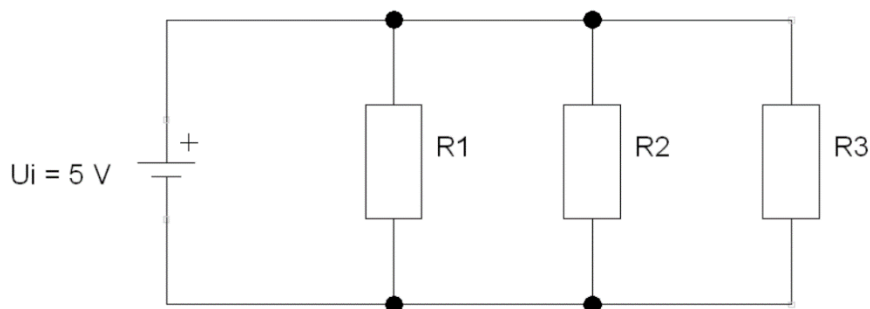
2.1.5) Izračunajte zbroj padova napona na otpornicima. Usporedite izračunati zbroj s vrijednošću napona izvora U_i .

$$U_1 + U_2 + U_3 = 2,5 \text{ V} + 1,66 \text{ V} + 0,84 \text{ V} = 5 \text{ V} = U_i$$



2.2 Paralelni spoj otpora

2.2.1) Tri otpora spojena su paralelno s izvorom istosmjernog napona. Shema paralelnog električnog kruga prikazana je na slici 2.2.



Slika 2.2: Otpori u paralelnom spoju.

2.2.2) Izračunaj nadomjesni otpor R_N , minimalni ukupni otpor R_{Nmin} i maksimalni ukupni R_{Nmax} na temelju bojom kodiranih vrijednosti pojedinih otpora!

a) Nadomjesni otpor R_N :

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1500 \Omega} = 0,00066667 S$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1000 \Omega} = 0,001 S$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500 \Omega} = 0,002 S$$

$$G_N = G_1 + G_2 + G_3 = 0,00066667 S + 0,001 S + 0,002 S = 0,00366667 S$$

$$R_N = \frac{1}{G_N} = \frac{1}{0,00366667 S} = 272,73 \Omega = 273 \Omega$$

Proračun sa formulom za ukupni otpor paralelnog spoja :

$$R_N = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} =$$

$$R_N = \frac{1500 \Omega \cdot 1000 \Omega \cdot 500 \Omega}{1500 \Omega \cdot 1000 \Omega + 1500 \Omega \cdot 500 \Omega + 1000 \Omega \cdot 500 \Omega} =$$

$$R_N = \frac{750.000.000 \Omega^3}{1.500.000 \Omega^2 + 750.000 \Omega^2 + 500.000 \Omega^2} = \frac{750.000.000 \Omega^3}{2.750.000 \Omega^2} = 272,73 \Omega = 273 \Omega$$

b) Minimalni ukupni otpor R_{Nmin} :

$$G_{1min} = \frac{1}{R_{1min}} = \frac{1}{1470 \Omega} = 0,00068027 S$$



$$G_{2min} = \frac{1}{R_{2min}} = \frac{1}{980 \Omega} = 0,00102041 S$$

$$G_{3min} = \frac{1}{R_{3min}} = \frac{1}{490 \Omega} = 0,00204082 S$$

$$G_{Nmin} = G_{1min} + G_{2min} + G_{3min} =$$

$$G_{Nmin} = 0,00068027 S + 0,00102041 S + 0,00204082 S = 0,0037415 S$$

$$R_{Nmin} = \frac{1}{G_{Nmin}} = \frac{1}{0,0037415 S} = 267,27 \Omega = 267 \Omega$$

Proračun sa formulom za ukupni otpor paralelnog spoja :

$$R_{Nmin} = \frac{R_{1min} \cdot R_{2min} \cdot R_{3min}}{R_{1min} \cdot R_{2min} + R_{1min} \cdot R_{3min} + R_{2min} \cdot R_{3min}} =$$

$$R_{Nmin} = \frac{1470 \Omega \cdot 980 \Omega \cdot 490 \Omega}{1470 \Omega \cdot 980 \Omega + 1470 \Omega \cdot 490 \Omega + 980 \Omega \cdot 490 \Omega} =$$

$$R_{Nmin} = \frac{705.894.000 \Omega^3}{1.440.600 \Omega^2 + 720.300 \Omega^2 + 480.200 \Omega^2} = \frac{705.894.000 \Omega^3}{2.641.100 \Omega^2} = 267,27 \Omega = 267 \Omega$$

c) Maksimalni ukupni otpor R_{Nmax} :

$$G_{1max} = \frac{1}{R_{1max}} = \frac{1}{1530 \Omega} = 0,00065359 S$$

$$G_{2max} = \frac{1}{R_{2max}} = \frac{1}{1020 \Omega} = 0,00098039 S$$

$$G_{3max} = \frac{1}{R_{3max}} = \frac{1}{510 \Omega} = 0,00196078 S$$

$$G_{Nmax} = G_{1max} + G_{2max} + G_{3max} =$$

$$G_{Nmax} = 0,00065359 S + 0,00098039 S + 0,00196078 S = 0,00359476 S$$

$$R_{Nmax} = \frac{1}{G_{Nmax}} = \frac{1}{0,00359476 S} = 278,18 \Omega = 278 \Omega$$

Proračun sa formulom za ukupni otpor paralelnog spoja :

$$R_{Nmax} = \frac{R_{1max} \cdot R_{2max} \cdot R_{3max}}{R_{1max} \cdot R_{2max} + R_{1max} \cdot R_{3max} + R_{2max} \cdot R_{3max}} =$$

$$R_{Nmax} = \frac{1530 \Omega \cdot 1020 \Omega \cdot 510 \Omega}{1530 \Omega \cdot 1020 \Omega + 1530 \Omega \cdot 510 \Omega + 1020 \Omega \cdot 510 \Omega} =$$

$$R_{Nmax} = \frac{795.906.000 \Omega^3}{1.560.600 \Omega^2 + 780.300 \Omega^2 + 520.200 \Omega^2} = \frac{795.906.000 \Omega^3}{2.861.100 \Omega^2} = 278,18 \Omega = 278 \Omega$$

2.2.3) Vrijednost napona istosmjernog izvora U_i iznosi 5 V DC. Izračunaj vrijednost struje strujnog izvora I_i .

$$U_i = 5 \text{ V DC}$$



$$I_i = \frac{U_i}{R_N} = \frac{5 \text{ V}}{273 \Omega} = 0,018 \text{ A} = 18 \text{ mA}$$

2.2.4) Izračunaj vrijednosti električnih veličina u strujnom krugu . Ispunite tablicu 2.2; zapišite izračunate vrijednosti svakog otpora.

Napomena: Pri izračunavanju električnih veličina zapišite odgovarajuće jednadžbe (formule).

Tablica 3.2: Izračunate vrijednosti električnih veličina u paralelnom električnom krugu.
* Kopiraj zadane vrijednosti iz tablice 1.

otpor	električna struja I [mA]	električni napon U [V]	električni otpor R_m [Ω] *
Otpornik 1			
Otpornik 2			
Otpornik 3			

$$U_1 = U_i = 5 \text{ V} \rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{5 \text{ V}}{1500 \Omega} = 0,0033 \text{ A} = 3,3 \text{ mA}$$

$$U_2 = U_i = 5 \text{ V} \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{5 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,005 \text{ A} = 5 \text{ mA}$$

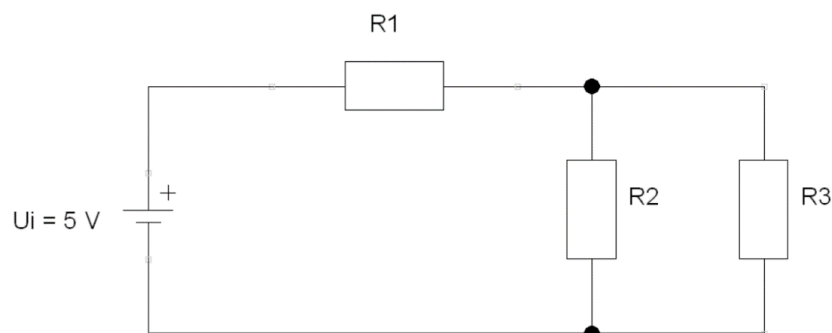
$$U_3 = U_i = 5 \text{ V} \rightarrow I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{5 \text{ V}}{500 \Omega} = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

2.2.5) Izračunaj ukupnu struju spoja. Vrijednost ukupne struje usporedi sa strujom izvora I_i .

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0,0033 \text{ A} + 0,005 \text{ A} + 0,01 \text{ A} = 0,0183 \text{ A} \cong 0,018 \text{ A} = I_i$$

2.3 Otpori u serijsko – paralelnoj kombinaciji

2.3.1) Tri otpornika spojena su u serijsko-paralelnoj kombinaciji na izvor istosmjernog napona. Shema električnog kruga prikazana je na slici 2.3.



Slika 2.3: Otpori u serijsko paralelnoj kombinaciji.

2.3.2) Izračunaj nadomjesni otpor R_N , minimalni ukupni otpor R_{Nmin} i maksimalni ukupni otpor spoja R_{Nmax} uzimajući u obzir bojom kodirane vrijednosti otpora.



a) Nadomjesni otpor R_N :

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1000 \Omega} = 0,001 S$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500 \Omega} = 0,002 S$$

$$G_{23} = G_2 + G_3 = 0,001 S + 0,002 S = 0,003 S$$

$$R_{23} = \frac{1}{G_{23}} = \frac{1}{0,003 S} = 333,33 \Omega = 333 \Omega$$

$$R_N = R_1 + R_{23} = 1500 \Omega + 333,33 \Omega = 1833,33 \Omega = 1833 \Omega$$

Proračun sa formulom za nadomjesni otpor:

$$\begin{aligned} R_N &= R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1500 \Omega + \frac{1000 \Omega \cdot 500 \Omega}{1000 \Omega + 500 \Omega} = 330 \Omega + \frac{500.000 \Omega^2}{1.500 \Omega} = 1500 \Omega + 333,33 \Omega \\ &= 1833,33 \Omega = 1833 \Omega \end{aligned}$$

b) Minimalni ukupni otpor R_{Nmin} :

$$G_{2min} = \frac{1}{R_{2min}} = \frac{1}{980 \Omega} = 0,00102041 S$$

$$G_{3min} = \frac{1}{R_{3min}} = \frac{1}{490 \Omega} = 0,00204082 S$$

$$G_{23min} = G_{2min} + G_{3min} = 0,00102041 S + 0,00204082 S = 0,00306123 S$$

$$R_{23min} = \frac{1}{G_{23min}} = \frac{1}{0,00306123 S} = 326,66 \Omega = 327 \Omega$$

$$R_{Nmin} = R_{1min} + R_{23min} = 1470 \Omega + 326,66 \Omega = 1796,66 \Omega = 1797 \Omega$$

Proračun sa formulom za ukupni otpor:

$$\begin{aligned} R_{Nmin} &= R_{1min} + \frac{R_{2min} \cdot R_{3min}}{R_{2min} + R_{3min}} = 1470 \Omega + \frac{980 \Omega \cdot 490 \Omega}{980 \Omega + 490 \Omega} = 1470 \Omega + \frac{480.200 \Omega^2}{1.470 \Omega} \\ &= 1470 \Omega + 326,67 \Omega = 1796,67 \Omega = 1797 \Omega \end{aligned}$$

c) Maksimalni ukupni otpor R_{Nmax} :

$$G_{2max} = \frac{1}{R_{2max}} = \frac{1}{1020 \Omega} = 0,00098039 S$$

$$G_{3max} = \frac{1}{R_{3max}} = \frac{1}{510 \Omega} = 0,00196078 S$$

$$G_{23max} = G_{2max} + G_{3max} = 0,00098039 S + 0,00196078 S = 0,00294117 S$$

$$R_{23max} = \frac{1}{G_{23max}} = \frac{1}{0,00294117 S} = 340,00 \Omega = 340 \Omega$$

$$R_{Nmax} = R_{1max} + R_{23max} = 1530 \Omega + 340 \Omega = 1870 \Omega$$



Proračun sa formulom za ukupni otpor:

$$R_{Nmax} = R_{1max} + \frac{R_{2max} \cdot R_{3max}}{R_{2max} + R_{3max}} = 1530 \Omega + \frac{1020 \Omega \cdot 510 \Omega}{1020 \Omega + 510 \Omega} = 1530 \Omega + \frac{520.200 \Omega^2}{1.530 \Omega} \\ = 1530 \Omega + 340 \Omega = 1870 \Omega$$

2.3.3) Vrijednost istosmjernog naponskog izvora U_i iznosi 5 V DC. Izračunaj struju strujnog izvora I_i .

$U_i = 5 \text{ V DC}$

$$I_i = \frac{U_i}{R_N} = \frac{5 \text{ V}}{1833 \Omega} = 0,0027 \text{ A} = 2,7 \text{ mA}$$

2.3.4) Izračunajte vrijednosti električnih veličina u električnom krugu. Ispunite tablicu 2.3; zapišite izračunate vrijednosti svakog otpora.

Napomena: Pri izračunavanju električnih veličina zapišite odgovarajuće jednadžbe (formule).

Tablica 4.3: Izračunate vrijednosti električnih veličina u serijski- paralelnom spoju..

* Kopirajte utvrđene vrijednosti iz tablice 1.

otpor	električna struja I [mA]	električni napon U [V]	električni otpor R_m [Ω] *
Resistor 1			
Resistor 2			
Resistor 3			

$$I_1 = I_i = 0,0027 \text{ A} \quad \rightarrow \quad U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1500 \Omega \cdot 0,0027 \text{ A} = 4,05 \text{ V} = 4,1 \text{ V}$$

$$I_{23} = I_i = 0,0027 \text{ A} \quad \rightarrow \quad U_{23} = R_{23} \cdot I_{23} = 333 \Omega \cdot 0,0027 \text{ A} = 0,9 \text{ V}$$

$$\text{ili} \quad U_i = U_1 + U_{23} \quad \rightarrow \quad U_{23} = U_i - U_1 = 5 \text{ V} - 4,1 \text{ V} = 0,9 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{23} = 0,9 \text{ V} \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{0,9 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,0009 \text{ A} = 0,9 \text{ mA}$$

$$U_3 = U_{23} = 0,9 \text{ V} \quad \rightarrow \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{0,9 \text{ V}}{500 \Omega} = 0,0018 \text{ A} = 1,8 \text{ mA}$$

$$\text{Ili} \quad I_{23} = I_2 + I_3 \quad \rightarrow \quad I_3 = I_{23} - I_2 = 0,0027 \text{ A} - 0,0009 \text{ A} = 0,0018 \text{ A} = 1,8 \text{ mA}$$

2.3.5) Izračunajte zbroj padova napona u naponskoj petlji serijskog spoja. Usporedite izračunati zbroj s vrijednošću izlaznog napona ili napona U_i .

$$U_1 + U_{23} = 4,1 \text{ V} + 0,9 \text{ V} = 5 \text{ V} = U_i$$

2.3.6) Izračunajte zbroj struja u čvoru spoja. Usporedite izračunati zbroj s vrijednošću trenutnog izlaza ili strujnog izvora I_i .

$$I_2 + I_3 = 0,0009 \text{ A} + 0,0018 \text{ A} = 0,0027 \text{ A} = I_1 = I_i$$



2.4 Usporedba rezultata

Prenesite rezultate na *Moodle* obrazovnu platformu.

Usporedite rezultate (teoretskog) izračuna, rezultate laboratorijskih mjerenja i rezultate CORELA simulacije.

3. Simulacija pomoću edukativne platforme CORELA (učenik 2)

Izvršite simulaciju sva tri električna kruga pomoću obrazovne platforme CORELA.

Instalacija, struktura i upotreba platforme predstavljeni su u korisničkom priručniku **CORELA Education Platform User Manual**.

3.1 Simulacija serijskog strujnog kruga

Koristite platformu CORELA za određivanje i izračun električnih veličina elemenata u serijskom strujnom krugu.

Upute / koraci za provođenje simulacije (u vezi s korisničkim priručnikom za CORELA Education Platform) navedeni su u nastavku.

1. Otvorite platformu CORELA i prijavite se.

2. Postavite vrijednosti otpora.

2.1 *Function list – Electronic components – Passive – Resistor – click.*

2.2 Kliknite odabrani kvadrat u radnom prostoru funkcije (npr. Otpor 1: 1. redak 1, 1. stupac).

2.3 *Pojavljuje se skočni prozor Resistor.vi.*

2.4 U polju za izradu otpornika odaberite opciju 5.

2.5 U poljima *First band, Second bend...* odaberite odgovarajuće vrijednosti ili boje.

2.6 U polju *Resistor power* postavite vrijednost 0,25 W.

2.7 U polju *Output IV value* izaberite opciju *Resistor value*.

2.8 Kliknite na *Record. Resistor.vi* skočni prozor nestaje.

2.9 Spremite vrijednost otpornika 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-1* .

2.10 Kliknite na kvadrat desno od otpornika na radnoj površini (npr. Red 1, stupac 2).



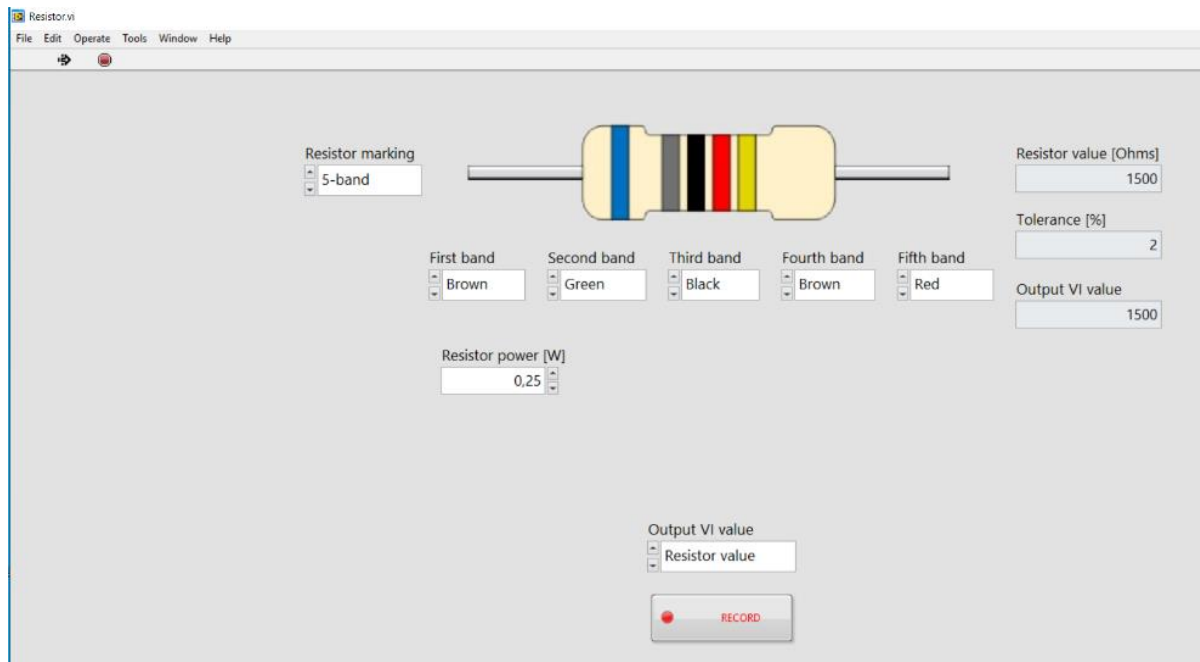
3. Ponovite istu proceduru za postavljanje vrijednosti otpornika 2.

Otpornik 2 2: 2. red, 1. stupac. Spremljena vrijednost (Write-VAR-2): 2. redak, 2. stupac.

4. Ponovite istu proceduru za postavljanje vrijednosti otpornika 3.

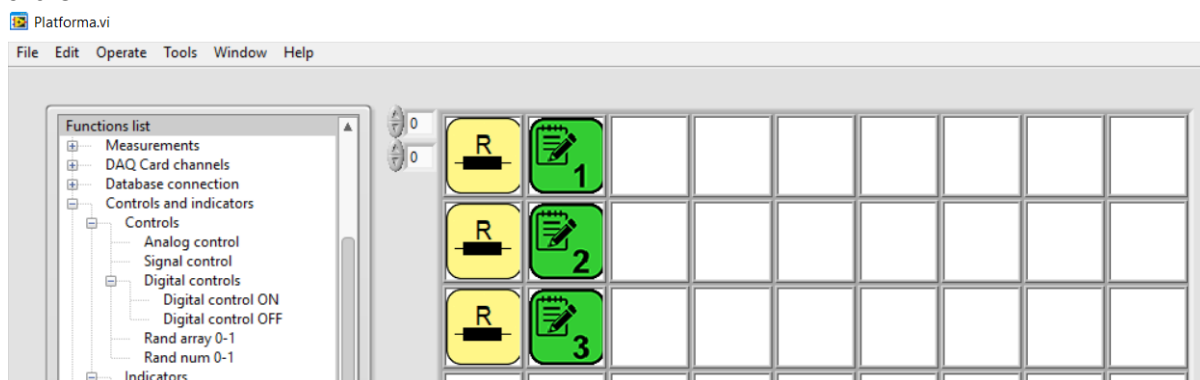
4.1 Otpornik 3: 3. redak, 1. stupac. Spremljena vrijednost (Write-VAR-3): 3. redak, 2. stupac.

Postavljanje vrijednosti otpora u radnom prostoru prikazano je na slici 3.1.



Slika 3.1: Određivanje vrijednosti otpornika.

Vrijednosti električnih otpora spremljene kao lokalne varijable u radnom prostoru prikazane su na slici 3.2.



Slika 3.2: Vrijednosti električnih otpornika spremljene kao lokalne varijable.

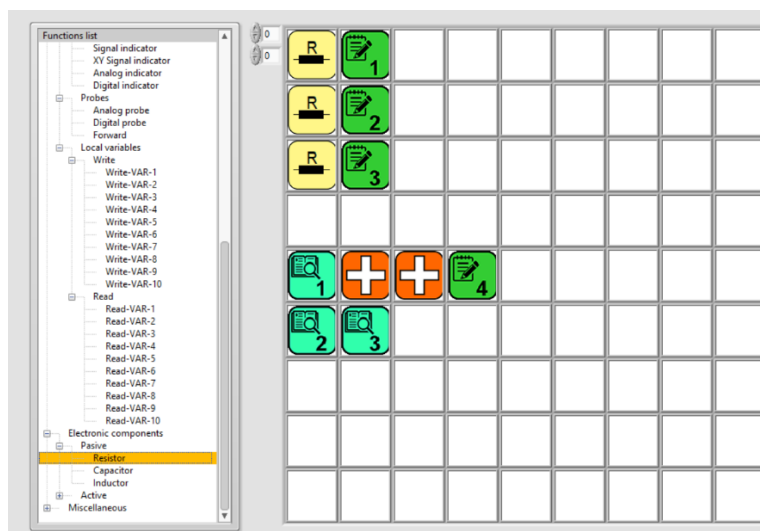
5. Izračunajte ukupni električni otpor električnog kruga.

5.1 Očitajte spremljenu vrijednost otpornika 1: *Function list - Controls and indicators – local variables*

– Read – Read-VAR-1.



- 5.2 Postavite klikom odabranu funkciju u *radni prostor* (npr. 5. redak, 1. stupac).
- 5.3 Očitajte spremljenu vrijednost otpornika 2: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-2*.
- 5.4 Postavite funkciju u radni prostor ispod “ Read-VAR-1” .
- 5.5 Zbroji odabrane (pročitane) vrijednosti: *Function list - Math - Arithmetics – Add .*
- 5.6 Klikom postavi opciju s desna “Read-VAR-1” u random prostoru .
- 5.7 Očitajte spremljenu vrijednost otpornika 3: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-3*.
- 5.8 Postavi odabranu funkciju ispod bloka “Add”.
- 5.9. Zbroji prethodni zbroj i vrijednost Otpornik 3 : *Function list - Math - Arithmetics – Add*.
- 5.10. Postavi blok *Add* u radni prostor (5. redak, 3. stupac).
- 5.11 Spremite vrijednost ukupnog zbroja: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-4*.
- 5.12 Postavi odabrani blok u radni proctor (5. redak, 4. stupac).
- Izračun ukupnog otpora u radnom prostoru prikazan je na slici 3.3.



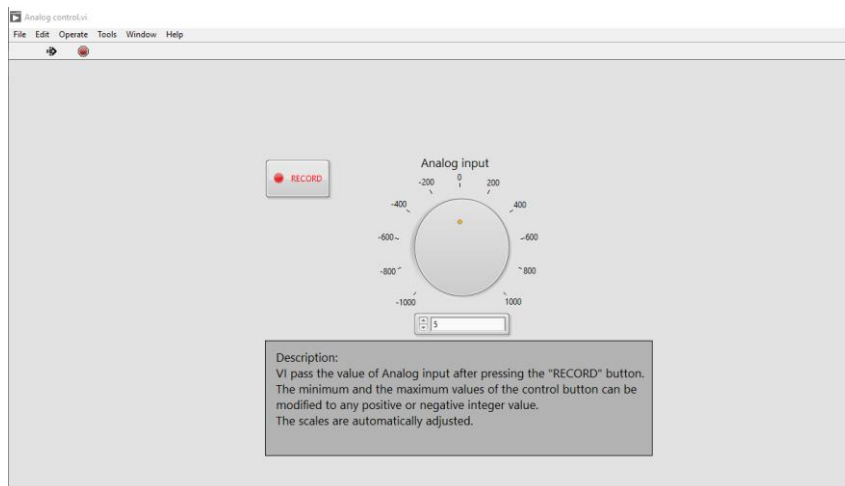
Slika 3.3: Određivanje ukupnog električnog otpora R_N serijskog strujnog kruga.

6. Postavi i sačuvaj vrijednost naponskog izvora .
- 6.1 *Function list -Controls and indicators – Controls – Analog control*.
- 6.2 Odaberi odgovarajuće polje na radnoj površini (8. redak, 1. stupac).
- 6.3 *Pojavljuje se skočni prozor Analog control.avi*.
- 6.4 Upišite ili odaberite vrijednost "5".
- 6.5 Kliknite *Record*. Skočni prozor *Analog control.avi* nestaje.
- 6.6 Spremite vrijednost napona izvora: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-5 .*



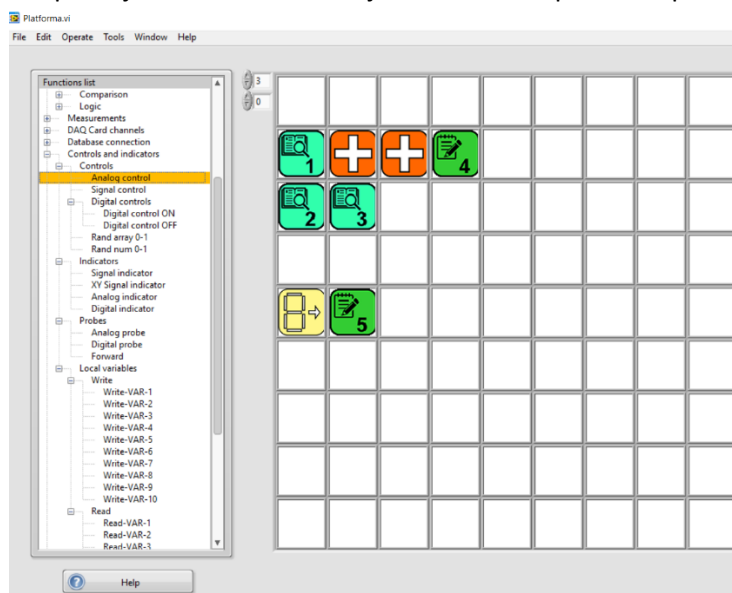
6.7 Odaberite polje s desne strane polja naponske vrijednosti na radnoj površini (8. redak, 2. stupac).

Postavljanje iznosa napona napajanja u radnom prostoru prikazano je na slici 3.4.



Slika 3.4: Određivanje vrijednosti naponskog izvora.

Vrijednost napona spremljena kao lokalna varijabla u radnom prostoru prikazana je na slici 3.5.



Slika 3.5: Vrijednost električnog napona spremljena kao lokalna varijabla.

7. Izračunajte vrijednost ukupne struje: vrijednost napona podijeljena s ukupnom vrijednošću otpora.

7.1 Očitajte spremljenu vrijednost napona: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-5.*

7.2 Odaberite odgovarajuće polje u radnom prostoru (8. redak, 4. stupac).

7.3 Očitajte spremljenu vrijednost ukupnog otpora: *Function list - Controls and indicators – local*



variables – Read – Read-VAR-4.

7.4 Odaberite polje ispod vrijednosti napona “Read-VAR-5” na radnoj površini(9. redak, 4. stupac).

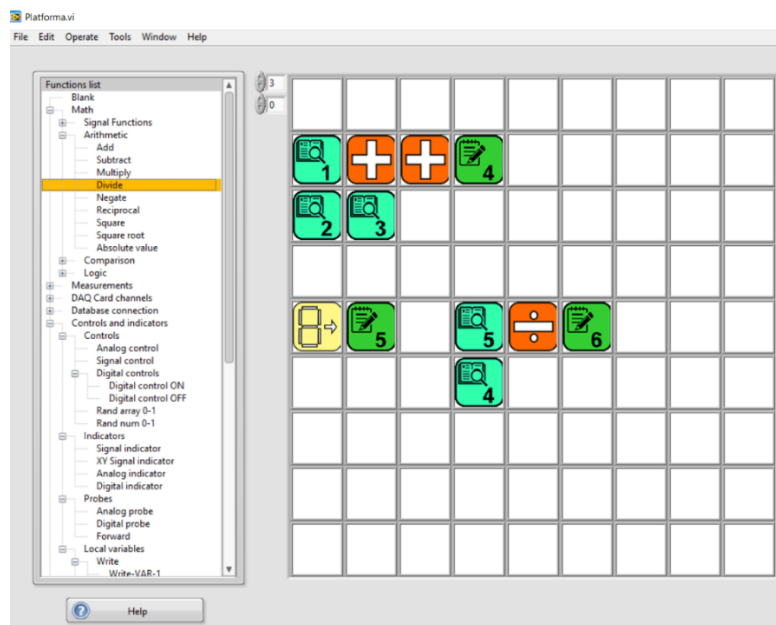
7.5 Podijelite odabrane (pročitane) vrijednosti: *Function list - Math - Arithmetics – Divide*.

7.6 Odaberite polje desno od vrijednosti napona “Read-VAR-5” (8. redak, 5. stupac).

7.7 Spremite vrijednost struje : *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-6* .

7.8 Odaberite polje s desne strane polja "Divide" na radnoj površini (8. redak, 6. stupac).

Izračun struje strujnog izvora prikazan je na slici 3.6.



Slika 3.6: Proračun vrijednosti električne struje.

8. Izračunajte pad napona na otporniku 1.

8.1 Pročitajte spremljenu vrijednost otpornika 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-1*.

8.2 Odaberite polje na radnoj površini .

8.3 Očitajte spremljenu vrijednost strujnog izvora: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-6*.

8.4 Odaberite polje ispod polja “Read-VAR-1” na radnoj površini .

8.5 Pomnožite odabrane (pročitane) vrijednosti: *Function list - Math - Arithmetics – Multiply*.

8.6 Odaberite polje desno od polja “Read-VAR-1”.

8.7 Spremite vrijednost pada napona 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write -VAR-7*.

8.8 Odaberite polje desno od polja “Multiply” na radnoj površini.



9. Izračunajte pad napona na otporniku 2.

9.1 Pročitajte spremljenu vrijednost otpornika 2: *Function list - Controls and indicators – local variables* – Read – Read-VAR-2.

9.2 Odaberi odgovarajuće polje na radnoj površini (11. redak, 5. stupac).

9.3 Očitajte spremljenu vrijednost struje: *Function list - Controls and indicators – local variables* – Read – Read-VAR-6.

9.4 Odaberi polje ispod polja “Read-VAR-2”(12. Redak , 5. stupac).

9.5 Pomnožite odabrane (pročitane) vrijednosti: *Function list - Math - Arithmetics – Multiply*.

9.6. Odaberite polje desno od polja “Read-VAR-1” (11. redak, 6. stupac).

9.7 Spremite vrijednost pada napona 2: *Function list - Controls and indicators – local variables* – Write – Write -VAR-8.

9.8 Odaberite polje desno od polja “Multiply” (11. redak, 7. stupac).

10. Izračunajte pad napona na otporniku 3.

10.1 Očitajte spremljenu vrijednost otpornika 3:*Function list - Controls and indicators – local variables* – Read – Read-VAR-3.

10.2 Odaberite odgovarajuće polje na radnoj površini (11. redak, 9. stupac).

10.3 Očitajte spremljenu vrijednost struje: *Function list - Controls and indicators – local variables* – Read – Read-VAR-6.

10.4 Odaberite polje ispod polja “Read-VAR-3” (12. redak, 9. stupac).

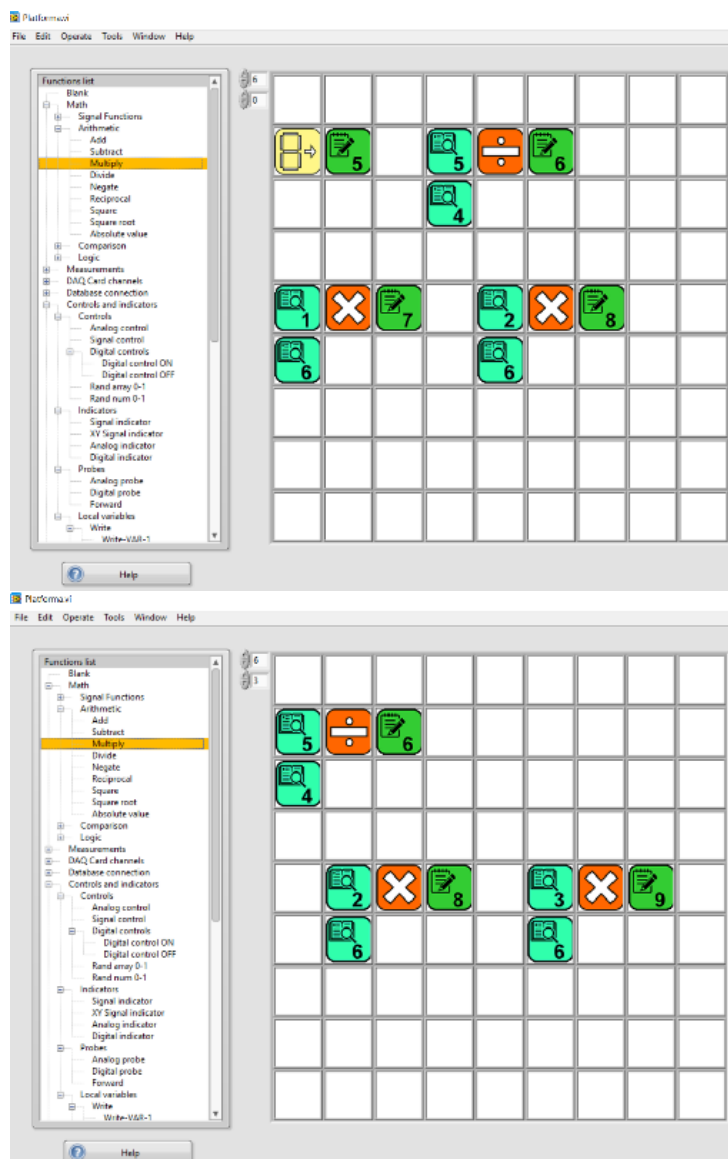
10.5 Pomnožite odabrane (očitanje) vrijednosti: *Function list - Math - Arithmetics – Multiply*.

10.6. Odaberite polje desno od polja “Read-VAR-3” (11. redak, 10. stupac).

10.7 Spremite vrijednost pada napona 3: *Function list - Controls and indicators – local variables* – Write – Write -VAR-9.

10.8 Odaberite polje desno od polja “Multiply” (11. redak, 11. stupac).

Izračun padova napona u radnom prostoru prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7: Određivanje vrijednosti padova napona.

11. Izračunajte zbroj padova napona otpornika.

11.1 Očitajte spremljenu vrijednost pada napona 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-Var-7*.

11.2 Odaberite odgovarajuće polje na radnoj površini (14. redak, 1. stupac).

11.3 Očitajte spremljenu vrijednost pada napona 2: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-Var-8*.

11.4 Odaberi polje ispod polja “Read-Var-7” (15. redak, 1. stupac).

11.5 Zbroji odabrane (pročitane) vrijednosti: *Function list - Math - Arithmetics – Add*.

11.6 Odaberi polje desno od polja “Read-Var-7” (14. redak, 2. stupac).

11.7 Očitajte spremljenu vrijednost pada napona 3: *Function list - Controls and indicators – local*



variables – Read – Read-VAR-8.

11.8 Odaberi polje ispod polja “Add”.

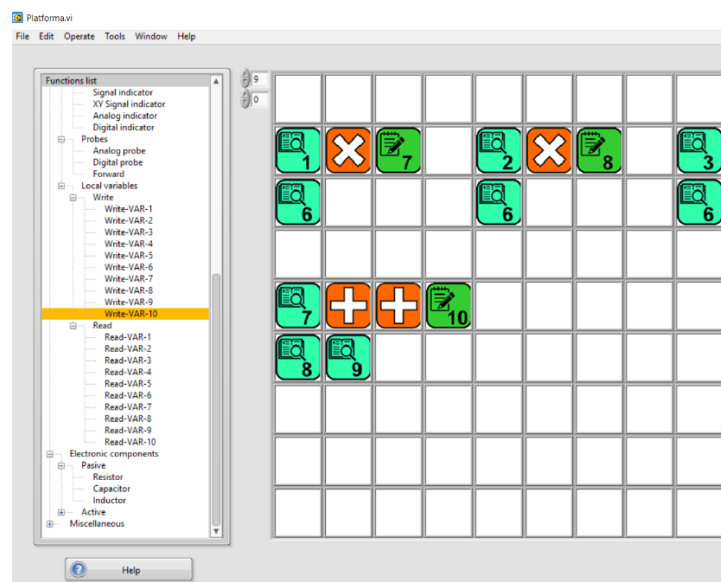
11.9 Zbroji prethodnu sumu i vrijednost pada napona 3: *Function list - Math - Arithmetics – Add*.

11.10 Odaberi polje desno od polja “Add”(14. redak, 3. stupac).

11.11 Spremite vrijednost ukupnog zbroja: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-10*.

11.12 Odaberite polje desno od polja drugog “Add” na radnoj površini (14. redak, 4. stupac).

Zbroj padova napona otpornika u radnom prostoru prikazan je na slici 3.8.



Slika 3.8: Proračun zbroja padova napona.

12. Usporedite vrijednost napona izvora i vrijednost izračunatog zbroja padova napona na otpornicima.

12.1 Objasnite razliku u uspoređenim vrijednostima.

3.2 Simulacija paralelnog električnog kruga

Koristite platformu CORELA za izračunavanje električnih veličina elemenata u paralelnom električnom krugu.

Upute / koraci za provođenje simulacije (u vezi s korisničkim priručnikom za CORELA Education Platform) slični su uputama u poglavlju 3.1.



3.3 Simulacija serijsko – paralelnog kruga

Koristite platformu CORELA za izračunavanje električnih veličina elemenata u kombiniranom serijsko paralelnom električnom krugu.

Upute / koraci za provođenje simulacije (u vezi s korisničkim priručnikom za CORELA Education Platform) slični su uputama u poglavlju 3.1.

3.4 Usporedba rezultata

Rezultati simulacije COREALA spremaju se i prenose na obrazovnu platformu Moodle.

Usporedite rezultate (teoretskog) izračuna, rezultate laboratorijskih mjerenja i rezultate simulacije CORELA.



4. Mjerenje električnih veličina (učenic 3)

4.1 Mjerenje električnog otpora

4.1) Izmjerite električni otpor svakog otpora multimetrom - **ohmmetar**; poslužite se izravnom metodom. Ispunite izmjerenim vrijednostima tablicu 4.1.

Napomena: Podesite multimetar na odgovarajuću veličinu i opseg mjerenja.

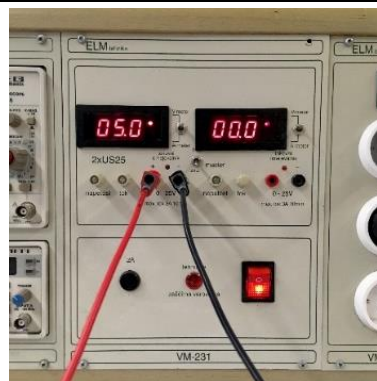
Je li izmjereni električni otpor svakog otpora unutar tolerancijskih granica (između minimalne i maksimalne vrijednosti) kodiranih bojom otpornika (tablica 1)?

Tablica 4.1: Mjerenja električnog otpora.

otpor	mjereni otpor R_m [Ω] (izravno mjerenje)	minimalni otpor R_{min} [Ω]	maksimalni otpor R_{max} [Ω]	adekvatnost izmjerene vrijednosti otpora (DA / NE)
Otpornik 1		1470 Ω	1530 Ω	
Otpornik 2		980 Ω	1020 Ω	
Otpornik 3		490 Ω	510 Ω	



Slika 4.1.1: Multimetar



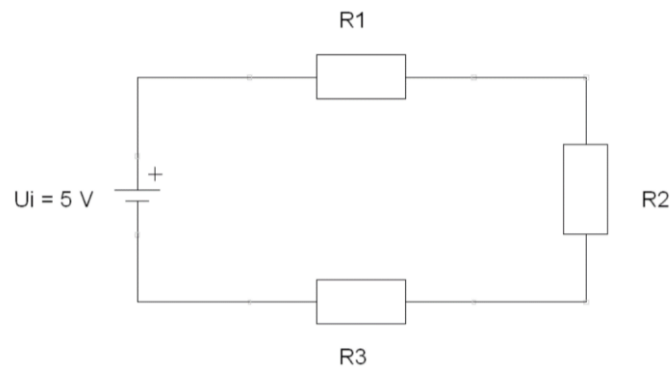
Slika 4.1.2: Naponski izvor

Kontrole su namijenjene kao ulazni unosi za funkcije izračuna i imaju jedan izlaz gdje proizvodi stalne varijable ili varijable polja. Varijable su analogni ili digitalni podaci. Kontrolna skupina funkcija sastoji se i od slučajnih generatora..



4.2 Otpori u serijskom strujnom krugu

4.2.1) Tri otpora su serijski povezana s izvorom istosmjernog napona. Shema električnog kruga prikazana je na slici 4.2.



Slika 4.2: Otpornici u serijskom električnom krugu.

4.2.2) Spojite serijski električni krug na eksperimentalnoj pločici. Izmjerite ukupni električni otpor kruga.

Napomena: Podesite multimetar na odgovarajuću veličinu i mjerni opseg.

$$R_{N-m} = \text{_____} \Omega$$

Je li izmjereni ukupni električni otpor R_{N-m} u granicama tolerancije (između najmanje izračunate vrijednosti $R_{Nmin} = 2940 \Omega$ i maksimalne izračunate vrijednost $R_{Nmax} = 3060 \Omega$)?

Da, izmjereni ukupni električni otpor unutar je granica tolerancije, odnosno između 2940Ω i 3060Ω .

4.2.3) Pripremite izvor napona; postaviti iznos istosmjernog napona $U_i = 5 \text{ V DC}$. Upotrijebite multimetar - voltmetar za mjerenje vrijednosti izlaznog napona.

Napomena: Prilagodite instrument odgovarajućem tipu mjerene veličine (AC / DC) i opsegu mjerenja.

$$U_{i-m} = \text{_____} \text{ V}$$

4.2.4) Spojite serijski električni krug na istosmjerni napon $U_i = 5 \text{ V DC}$. Upotrijebite multimetar - amperemetar za mjerenje vrijednosti struje.

Napomena: Prilagodite multimetar odgovarajućem tipu mjerene veličine (AC / DC) i opsegu mjerenja.

$$I_{i-m} = \text{_____} \text{ A} = \text{_____} \text{ mA}$$

4.2.5) Izvršite mjerenja električnih veličina u električnom krugu. Ispunite tablicu 4.2; zapišite izmjerene vrijednosti svakog otpora.

Napomena: Prilagodite multimetar odgovarajućem tipu mjerene veličine (AC / DC) i opsegu mjerenja.

4.2.5.1) Izmjerite pad napona svakog otpora u električnom krugu.



4.2.5.2) Izmjerite struje kroz svaki otpor u električnom krugu.

4.2.5.3) Odredite (izračunajte) izmjereni otpor svakog otpora neizravnim U-I metodom (na temelju izmjerenog pada napona i izmjerene struje)

Tablica 4.2: Mjerenja električnih veličina u serijskom električnom krugu.

* Kopirajte izmjerene vrijednosti iz tablice 4.1.

otpor	električna struja I_m [mA]	električni napon U_m [V]	električni otpor R_m [Ω] Neizravno mjerenje	Elektrini otpor R_m [Ω] Izravno mjerenje*
Otpornik 1				
Otpornik 2				
Otpornik 3				

$$R_{1m} = \frac{U_{1m}}{I_{1m}} = \text{--} = \text{---} \Omega$$

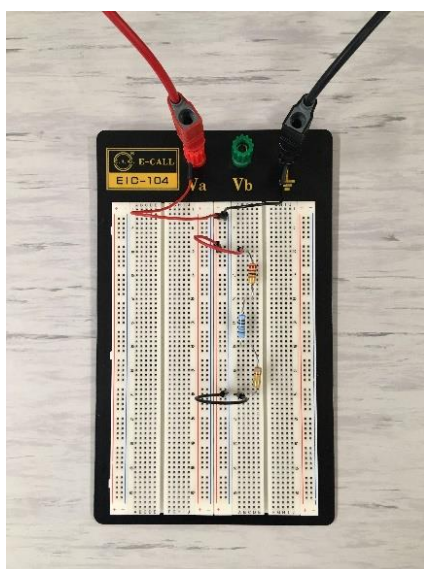
$$R_{2m} = \frac{U_{2m}}{I_{2m}} = \text{--} = \text{---} \Omega$$

$$R_{3m} = \frac{U_{3m}}{I_{3m}} = \text{--} = \text{---} \Omega$$

4.2.6) Izračunajte zbroj izmjerenih padova napona na otpornicima. Usporedite izračunati zbroj s izmjerenim naponom izvora U_{i-m} .

$$U_{1m} + U_{2m} + U_{3m} = \text{---} V + \text{---} V + \text{---} V = \text{---} V \cong U_{i-m}$$

Serijski električni krug na protopločici prikazan je na slici 4.3.

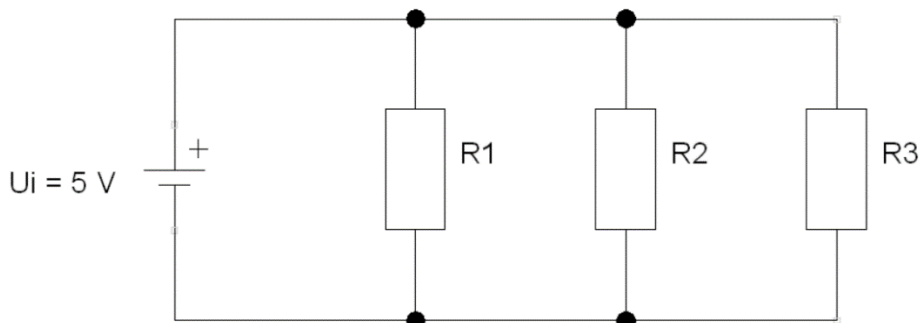


Slika 4.3: Serijski električni krug na protopločici



4.3 Otpori u paralelnom električnom krugu

4.3.1) Tri otpora spojena su paralelno s izvorom istosmjernog napona. Shema paralelnog električnog kruga prikazana je na slici 4.4.



Slika 4.4: Otpornici u paralelnom električnom krugu.

4.3.2) Izgradi paralelni električni krug na eksperimentalnoj pločici. Izmjerite ukupni električni otpor kruga.

Napomena: Podesite multimetar na odgovarajuću mjerenu veličinu i opseg mjerenja.

$$R_{N-m} = \text{_____} \Omega$$

Je li izmjereni ukupni električni otpor R_{N-m} u granicama tolerancije (između najmanje izračunate vrijednosti $R_{Nmin} = 267 \Omega$ i maksimalne izračunate vrijednosti $R_{Nmax} = 278 \Omega$)?

Da, izmjereni ukupni električni otpor je u granicama tolerancije, tj. između 267Ω i 278Ω .

4.3.3) Pripremite izvor napona; postaviti iznos istosmjernog napona $U_i = 5 \text{ V DC}$. Upotrijebite multimetar - voltmetar za mjerenje vrijednosti izlaznog napona.

Napomena: Prilagodite instrument mjerenoj veličini (AC / DC) i opsegu mjerenja.

$$U_{i-m} = \text{_____} \text{ V}$$

4.3.4) Spojite paralelni električni krug na istosmjerni napon $U_i = 5 \text{ V DC}$. Upotrijebite multimetar - amperemetar za mjerenje vrijednosti struje.

Napomena: Prilagodite multimetar odgovarajućoj mjerenoj veličini (AC / DC) i opsegu mjerenja.

$$I_{i-m} = \text{_____} \text{ A} = \text{_____} \text{ mA}$$

4.3.5) Izvršite mjerenja električnih veličina u električnom krugu. Ispunite tablicu 4.3; zapišite izmjerene vrijednosti svakog otpora.

Napomena: Prilagodite multimetar odgovarajućem tipu mjerene veličine (AC / DC) i opsegu mjerenja.

4.3.5.1) Izmjerite pad napona svakog otpora u električnom krugu.

4.3.5.2) Izmjerite struje kroz svaki otpor u električnom krugu.



4.3.5.3) Odredite (izračunajte) izmjereni otpor svakog otpora neizravnom U-I metodom (na temelju izmjerenog pada napona i izmjerene struje).

Tablica 4.3: Mjerenja električnih veličina u paralelnom električnom krugu.

* Kopirajte izmjerene vrijednosti iz tablice 4.1.

otpor	električna struja I_m [mA]	električni napon U_m [V]	električni otpor R_m [Ω] Neizravno mjerenje	Električni otpor R_m [Ω] Izravno mjerenje*
Otpornik 1				
Otpornik 2				
Otpornik 3				

$$R_{1m} = \frac{U_{1m}}{I_{1m}} = - = \text{_____} \Omega$$

$$R_{2m} = \frac{U_{2m}}{I_{2m}} = - = \text{_____} \Omega$$

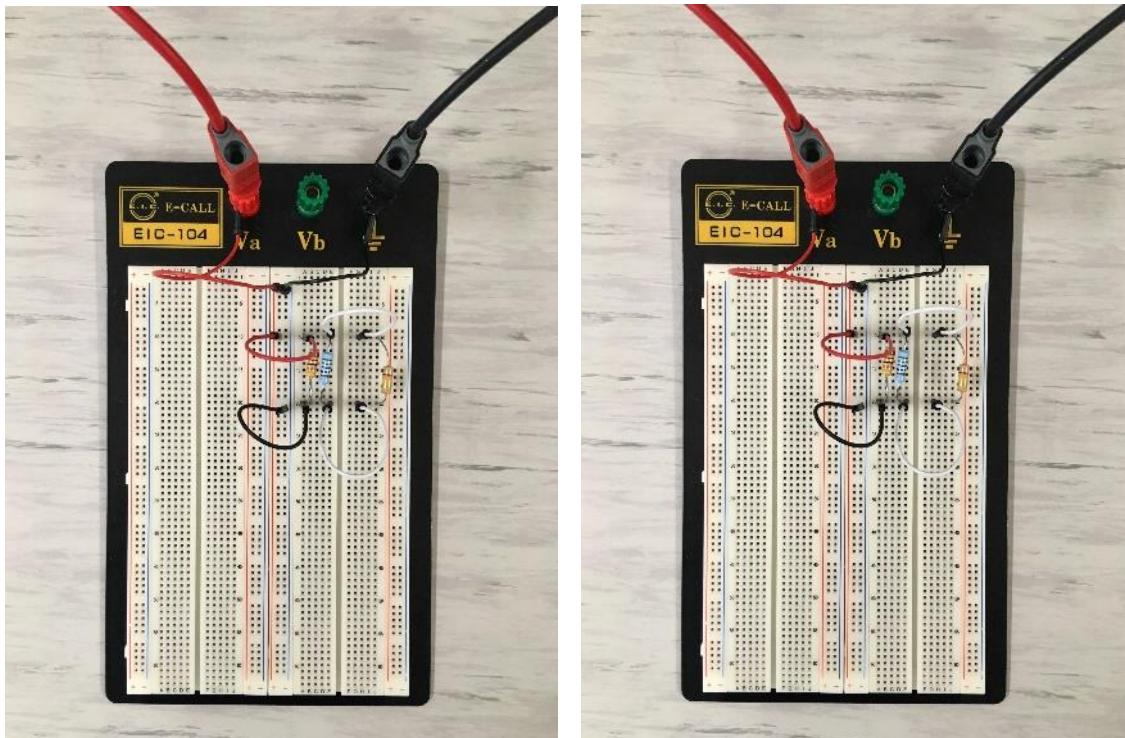
$$R_{3m} = \frac{U_{3m}}{I_{3m}} = - = \text{_____} \Omega$$

4.3.6) Izračunajte zbroj izmjerenih struja kroz otpornike. Usporedite izračunati zbroj s izmjerenom strujom izvora I_{i-m} .

$$I_{1m} + I_{2m} + I_{3m} = \text{_____} \text{ mA} + \text{_____} \text{ mA} + \text{_____} \text{ mA} = \text{_____} \text{ mA} \cong I_{i-m}$$



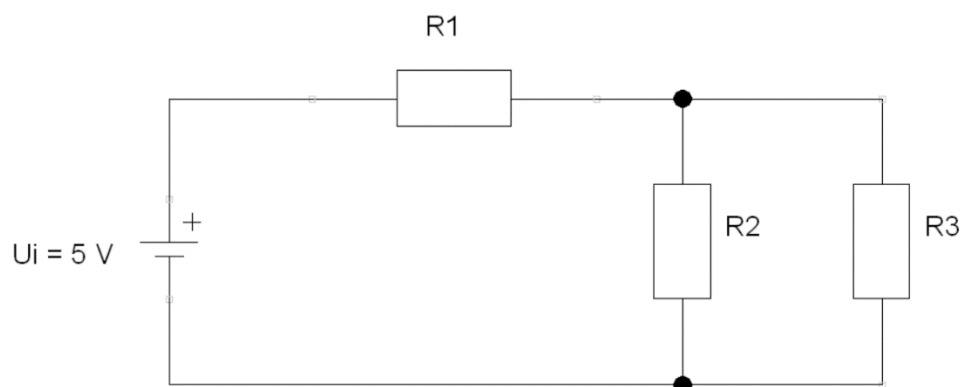
Paralelni električni krug na protopločici prikazan je na slici 4.5.



Slika 4.5: Paralelni električni krug na protopločici

4.4 Električni krug sa serijsko – paralelnom kombinacijom otpora

4.4.1) Tri otpornika spojena su u serijsko-paralelnoj kombinaciji na izvor istosmjernog napona. Shema električnog kruga prikazana je na slici 4.6.



Slika 4.6: Otpornici u serijsko- paralelnom električnom krugu.

4.4.2) Izradite serijsko-paralelni električni krug na eksperimentalnoj pločici. Izmjerite ukupni električni otpor kruga.

Napomena: Podesite multimetar na odgovarajuću veličinu i opseg mjerenja.



$$R_{N-m} = \text{_____} \Omega$$

Je li izmjereni ukupni električni otpor R_{N-m} u granicama tolerancije (između najmanje izračunate vrijednosti $R_{Nmin} = 1797 \Omega$ i maksimalne izračunate vrijednost $R_{Nmax} = 1870 \Omega$)?

Da, izmjereni ukupni električni otpor unutar je granica tolerancije, odnosno između 1797Ω i 1870Ω .

4.4.3) Pripremite izvor napona; postaviti iznos istosmjernog napona $U_i = 5 \text{ V DC}$. Upotrijebite multimetar - voltmetar za mjerenje vrijednosti izlaznog napona.

Napomena: Prilagodite instrument odgovarajućem tipu mjerne veličine (AC / DC) i opsegu mjerenja.

$$U_{i-m} = \text{_____} \text{ V}$$

4.4.4) Spojite serijsko - paralelni električni krug na istosmjerni napon $U_i = 5 \text{ V DC}$. Upotrijebite multimetar - amperemetar za mjerenje vrijednosti struje.

Napomena: Podesite multimetar na odgovarajuću veličinu i opseg mjerenja.

$$I_{i-m} = \text{_____} \text{ A} = \text{_____} \text{ mA}$$

4.4.5) Izvršite mjerenja električnih veličina u električnom krugu. Ispunite tablicu 4.4; zapišite izmjerene vrijednosti svakog otpora.

Napomena: Prilagodite instrument odgovarajućem tipu mjerne veličine (AC / DC) i opsegu mjerenja.

4.4.5.1) Izmjerite pad napona svakog otpora u električnom krugu.

4.4.5.2) Izmjerite struju kroz svaki otpor u električnom krugu.

4.4.5.3) Odredite (izračunajte) izmjereni otpor svakog otpora neizravnim U-I metodom (na temelju izmjerenog pada napona i izmjerene vrijednosti struje).

Tablica 4.4: Mjerenja električnih veličina u serijsko- paralelnom električnom krugu.

* Kopirajte izmjerene vrijednosti iz tablice 4.1.

otpor	električna struja I_m [mA]	električni napon U_m [V]	električni otpor R_m [Ω] Neizravno mjerenje	Elektrini otpor R_m [Ω] Izravno mjerenje*
Otpornik 1				
Otpornik 2				
Otpornik 3				

$$R_{1m} = \frac{U_{1m}}{I_{1m}} = \text{---} = \text{_____} \Omega$$

$$R_{2m} = \frac{U_{2m}}{I_{2m}} = \text{---} = \text{_____} \Omega$$

$$R_{3m} = \frac{U_{3m}}{I_{3m}} = \text{---} = \text{_____} \Omega$$

4.4.6) Izračunajte zbroj izmjerenih padova napona u naponskoj petlji serijskog spoja. Usporedite izračunati zbroj s izmjerenim izlaznim naponom U_{i-m} .

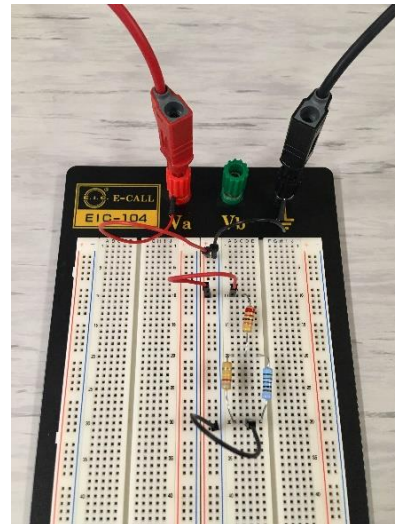
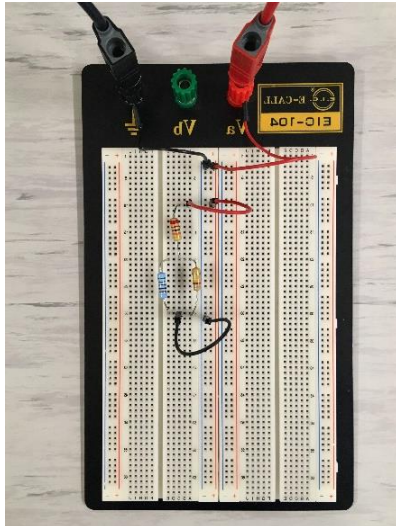


$$U_{1m} + U_{23m} = \text{_____} V + \text{_____} V = \text{_____} V \cong U_{im}$$

4.4.7) Izračunajte zbroj izmjerenih struja u čvoru / spoju paralelne veze. Usporedite izračunati zbroj s izmjerenom izlaznom strujom I_{i-m} .

$$I_{2m} + I_{3m} = \text{_____} mA + \text{_____} mA = \text{_____} mA \cong I_{1m} \cong I_{im}$$

Serijsko - paralelni električni krug na protopločici prikazan je na slici 4.7.



Slika 4.7: Serijsko - paralelni električni krug na protopločici

4.5 Usporedba rezultata

Prenesite rezultate na *Moodle* edukacijsku platformu.

Usporedite rezultate (teorijskog) izračuna, rezultate laboratorijskih mjerenja i rezultate simulacije CORELA.

Video materijal:

<https://www.youtube.com/watch?v=8P3Clw4ZEHk&feature=youtu.be>

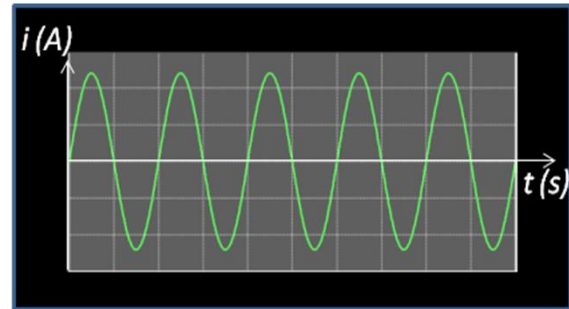


III Mjerenje impedancije

1. Uvod

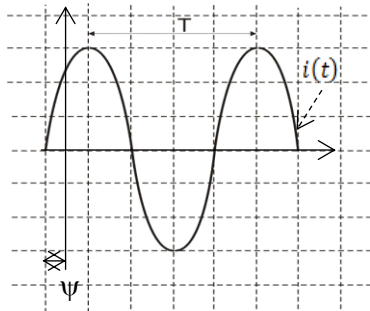
Izvor izmjeničnog napona u strujnom krugu generira izmjeničnu struju. Ta se struja mijenja u vremenu, i izmjenjuje se po intenzitetu i po smjeru (slika 1.1).

U elektrotehnici je uobičajeni oblik izmjenične struje sinusni val.



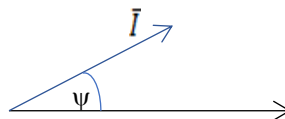
Slika 1.1 Izmjenična struja sinusnog oblika

Izmjenične veličine mogu se prikazati na tri načina (slike 1.2, 1.3 i 1.4):

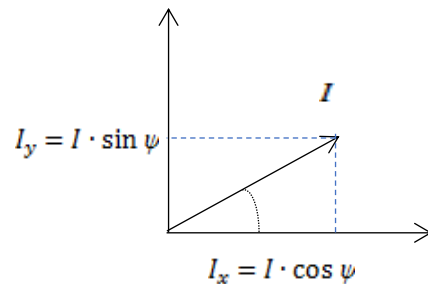


$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi) [A]$$

Slika.1.2
Vremenski (trigonometrijski)
prikaz



Slika.1.3
Fazorski (geometrijski)
prikaz



Slika 1.4
Kompleksni (aritmetički)
prikaz

$$I = I \cdot \cos \psi + jI \cdot \sin \psi$$

Vrijednosti sinusnog vala u određenom trenutku određuju se sljedećim relacijama:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi) [A]$$

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \theta) [V]$$

I_m, U_m - amplituda ili maksimalna vrijednost izmjenične struje, odnosno napona;

ω - kutna frekvencija izmjeničnih varijabli ($\omega = 2\pi f \left[\frac{rad}{s} \right]$);

f - frekvencija izmjeničnih varijabli [Hz];

ψ, θ - fazni pomak izmjeničnih varijabli u trenutku $t=0$ [rad];

φ - fazni pomak između napona i struje ($\varphi = \theta - \psi$) [rad].



Ampermetri i voltmetri za mjerenje izmjenične struje, odnosno napona, mjere njihovu efektivnu vrijednost.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot I_m [A]$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot U_m [V]$$

I, U - efektivna vrijednost izmjenične struje, odnosno napona.

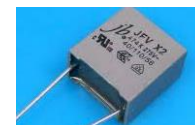
Elementi u strujnim krugovima izmjenične struje



Omski otpornik



Prigušnica (zavojnica)



Kondenzator

Izračun impedancije u izmjeničnom strujnom krugu ovisi o vrsti i broju elemenata i o načinu njihovog međusobnog povezivanja.

Impedancija se također može odrediti na praktičan način mjerenjem efektivnih vrijednosti napona i struje uporabom UI metode:

$$Z = \frac{U}{I} [\Omega]$$

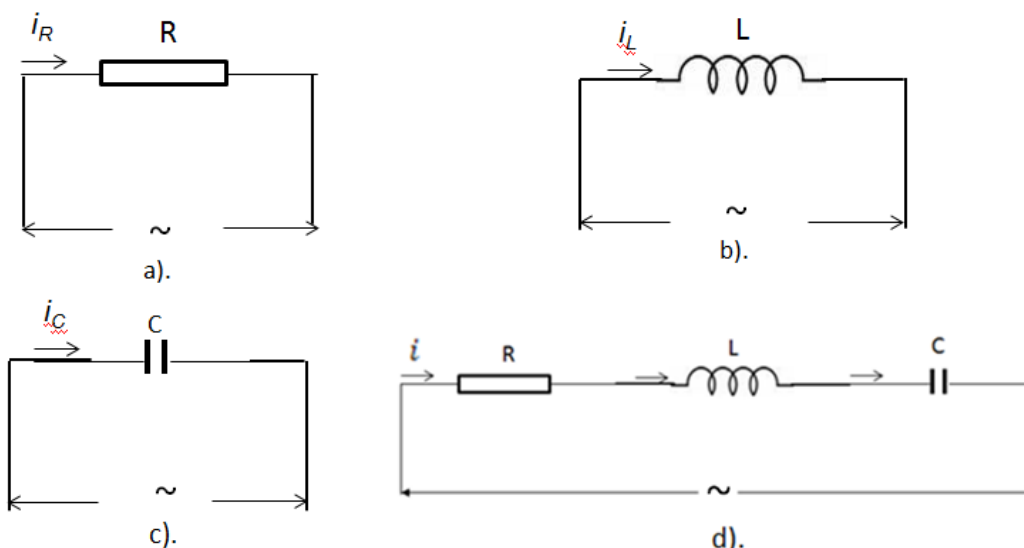
Z - modul impedancije, tj. potpuni otpor kruga;

U, I - efektivne vrijednosti napona i struje u strujnom krugu

2. Teorijski zadaci (svi učenici)

Odredite impedanciju za različite frekvencije izvora izmjenične struje, na slici 2, kada je na strujni krog spojeno:

- Omski otpor otpora $R = 470\Omega$ (slika 2a)
- Zavojnica s induktivitetom $L = 1 \text{ mH}$ (slika 2b)
- Kondenzator s kapacitetom $C = 0,47 \mu\text{F}$ (slika 2c)
- Sva tri elementa spojena u seriju (slika 2d)



Slika 2: Strujni krugovi

3. Izračunavanje impedancije (učenik 1)

3.1 Izračun

Impedancija se izračunava za svaki strujni krug na slici 2 i različite frekvencije izmjeničnog napona.

a. Izmjenični strujni krug s omskim otpornikom prikazan je na slici 2.a. Impedancija u krugu izračunava se po formuli:

$$Z = R[\Omega]$$

Izračunate vrijednosti zapisane su u tablici 3a.

b. Izmjenični strujni krug sa zavojnicom prikazan je na slici 2.b. Impedancija u krugu izračunava se po formuli:

$$Z = X_L[\Omega] \quad X_L = \omega \cdot L [\Omega], \quad \omega = 2\pi f \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

gdje je X_L induktivni otpor zavojnice $[\Omega]$

Izračunate vrijednosti zapisane su u tablici 3b.

c. Izmjenični strujni krug s kondenzatorom prikazan je na slici 2.c. Impedancija u krugu izračunava se po formuli:

$$Z = X_C[\Omega]$$

gdje je X_C kapacitivni otpor kondenzatora $[\Omega]$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} [\Omega]$$

Izračunate vrijednosti zapisane su u tablici 3c.



d. Izmjenični serijski strujni krug s otpornikom, zavojnicom i kondenzatorom (serijski RLC krug) prikazan je na slici 2.d. Impedancija u krugu izračunava se po formuli:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} [\Omega]$$

R – aktivni (omski) otpor u krugu [Ω]

X – reaktivni otpor u krugu

$$X = X_L - X_C [\Omega]$$

Izračunate vrijednosti zapisane su u tablici 3d.

Odredite karakter serijskog RLC strujnog kruga, ako je poznato da:

za $X_L > X_C$ sklop ima induktivni karakter

za $X_L < X_C$ sklop ima kapacitivni karakter;

za $X_L = X_C$ sklop ima omski karakter.

Izračunate vrijednosti zapišite u tablicu

Tablica 3a: Strujni krug s omskim otporom

f(Hz)	100	1000	10000	100000
Z(Ω)				

Tablica 3b: Strujni krug s zavojnicom

f(Hz)	5000	10000	50000	100000
Z(Ω)				

Tablica 3c: Strujni krug s kondenzatorom

f(Hz)	100	200	500	1000
Z(Ω)				

Tablica 3d: Serijski RLC krug

f(Hz)	100	1000	10000	100000
Z(Ω)				

Pitanje 1: Kako se kapacitivni otpor mijenja povećanjem frekvencije?

Pitanje 2: Kako se mijenja induktivni otpor povećanjem frekvencije?

Pitanje 3: Koji karakter ima serijski RLC krug iz zadatka?



3.2 Usporedba rezultata

Prijavite se na platformu Corela da biste unijeli vrijednosti.

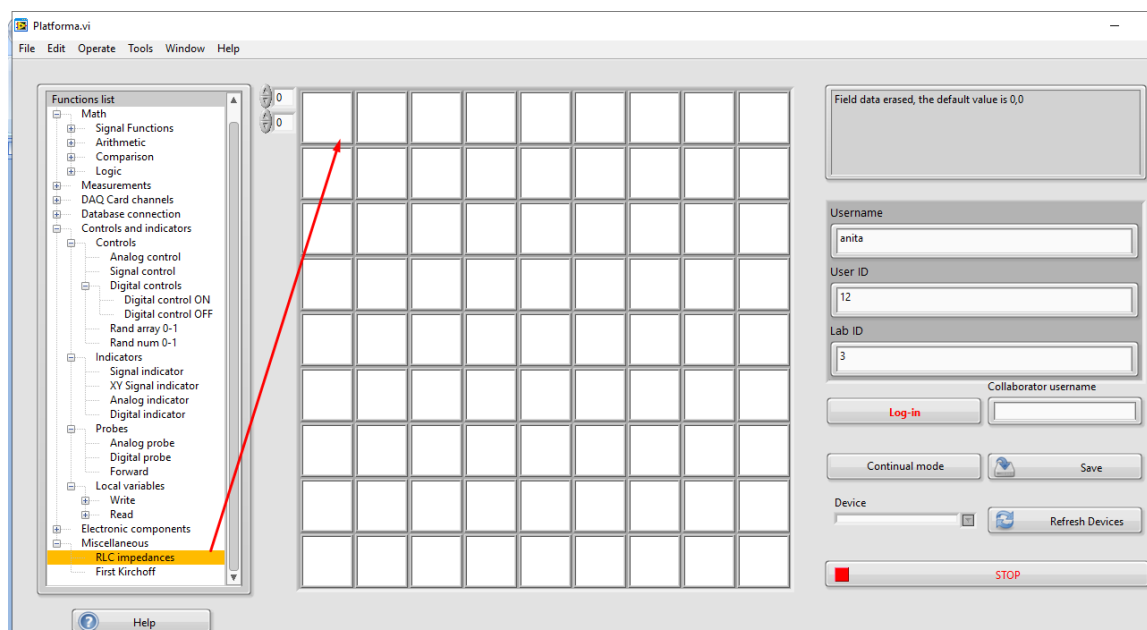
Vrijednosti frekvencija i impedancija unose se i šalju obrazovnoj platformi prema postupku objašnjenom u točki 4. ovog priručnika.

Usporedite dobivene podatke o impedanciji s podacima dobivenim od učenika 1 i 3.

4. Određivanje impedancije simulacijom (učenik 2)

4.1 Aktiviranje vježbe

Nakon prijave na platformu Corela, odaberite vježbu „RLC impedance“ s popisa funkcija u Razno i kliknite je lijevom tipkom miša kako biste je smjestili u polje radne površine, kao što je prikazano na slici 4.1.



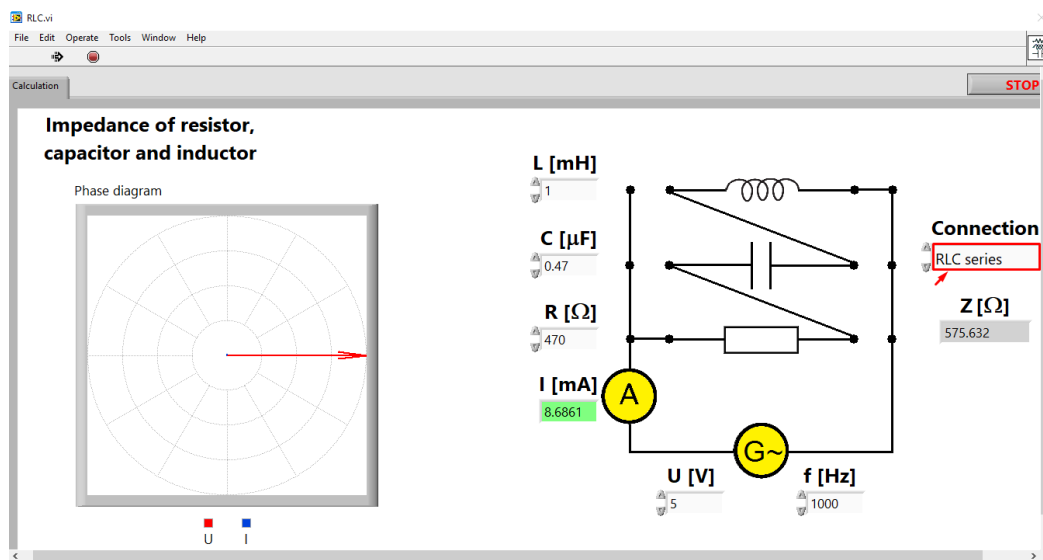
Slika 4.1: Postavljanje vježbe na radnoj površini

Na zaslonu se prikazuje skočni prozor s vježbom RLC impedance, kao na slici 4.2.



4.2 Odabir vrste strujnog kruga i očitavanja rezultata

Vrsta strujnog kruga odabire se iz polja "Connection".



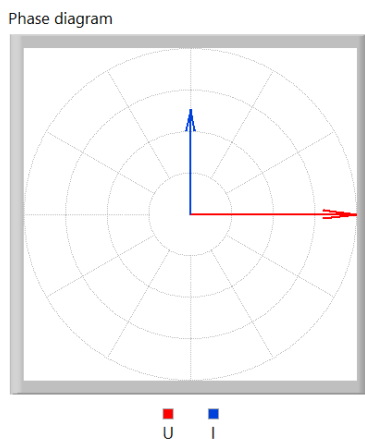
Slika 4.2: Izbor vrste strujnog kruga

Simulacija mjerenja izvodi se zasebno za svaki strujni krug, prema redoslijedu na slici 2.

Nakon odabira potrebnog strujnog kruga, u odgovarajuća polja radne površine unose se efektivna vrijednost izmjeničnog napona $U = 5$ V, frekvencije f , otpora otpornika R , induktiviteta zavojnice L i kapacitivnosti kondenzatora C prema karakteristikama elemenata navedenih u zadatku.

Za svaki strujni krug vrši se nekoliko mjerenja za različite vrijednosti frekvencije, dane u odgovarajućim tablicama. Vrijednosti struje i impedancije mijenjaju se promjenom frekvencije i očitavaju se i unose u odgovarajuće tablice (2a, 2b, 2c i 2d).

Fazni pomak φ , između napona i struje, može se vidjeti iz fazorskog dijagrama nacrtanog na lijevoj strani zaslona (slika 4.3).



Slika 4.3: Fazni dijagram strujnog kruga s kondenzatorom

U predviđeni prostor, s desne strane tablica, napišite fazni pomak (φ) između napona i struje za krug s idealnom zavojnicom (slika 2b) i za krug s idealnim kondenzatorom (slika 2c).

Tablica 4a: Strujni krug s omskim otporom

f(Hz)	100	1000	10000	100000
I(A)				
Z(Ω)				

Tablica 4b: Strujni krug s zavojnicom

f(Hz)	5000	10000	50000	100000
I(A)				
Z(Ω)				

$\varphi = \text{-----}$

Tablica 4c: Strujni krug s kondenzatorom

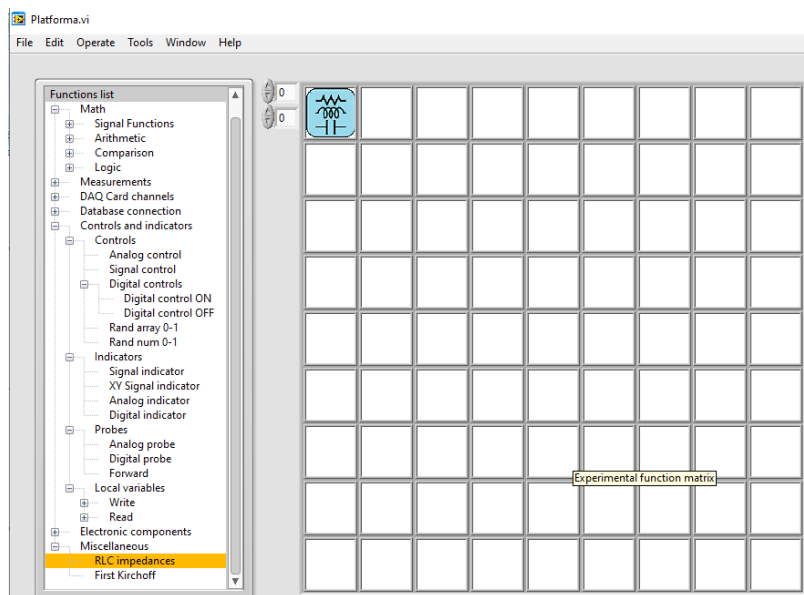
f(Hz)	100	200	500	1000
I(A)				
Z(Ω)				

$\varphi = \text{-----}$

Tablica 4d: Serijski RLC krug

f(Hz)	100	1000	10000	100000
I(A)				
Z(Ω)				

Nakon očitavanja i upisivanja izmjerenih vrijednosti za I i Z, za sva četiri strujna kruga, skočni prozor se zatvara pritiskom na gumb "STOP" i ikona vježbe prikazuje se na radnoj površini platforme (slika 4.4).



Slika 4.4: Radna površina nakon simulacijskog mjerenja

Pitanje 1: Koliki je fazni pomak između napona i struje u strujnom krugu s idealnom zavojnicom (slika 2b)?



Pitanje 2: Koliki je fazni pomak između napona i struje u strujnom krugu s idealnim kondenzatorom (slika 2c)?

Pitanje 3: Kako se vrijednost impedancije mijenja s promjenom frekvencije u strujnom krugu na slici 2b?

Pitanje 4: Kako se vrijednost impedancije mijenja s promjenom frekvencije u strujnom krugu na slici 2c?

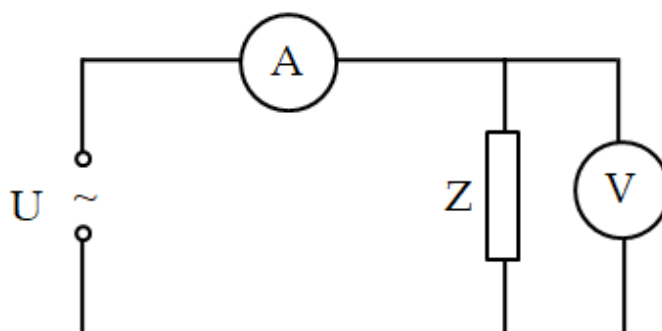
4.3 Uspoređivanje rezultata

Vrijednosti za pojedine frekvencije i vrijednosti pojedine impedancije, za sva četiri strujna kruga vježbe, unose se u platformu Corela i šalju obrazovnoj platformi prema postupku objašnjenom u točki 4. ovog priručnika.

Usporedite dobivene podatke o impedanciji s podacima dobivenim od učenika 1 i 3.

5. Mjerenje impedancije (učenik 3)

Praktičnim putem odredite impedanciju mjerenjem struje za različite frekvencije priključenog izvora izmjeničnog napona.



Slika 5.1: Strujni krug za mjerenje impedancije

U eksperimentu se koristi sljedeći hardver:

- Funkcijski generator (slika 5.2 a)
- Osciloskop (slika 5.2 b)
- Protoploča (slika 5.2 s) sa sljedećim elementima:
 - Otpornik $R = 470 \Omega$
 - Zavojnica $L = 1 \text{ mH}$
 - Kondenzator $C = 0,47 \mu\text{F}$
- Digitalni multimetar - za izmjenični napon (slika 5.2 d)
- Prijenosni modul za mjerenje i analizu NI-myDAQ (slika 5.2 e)
- Vodiči



a.

b.



c.



d.



e.

Slika 5.2 Komponente za mjerenje impedancije

a). Funkcijski generator; b). Osciloskop; c). Proto ploča; d). Digitalni multimetar

e). Acquisition Card

5.1 Postupak

Praktična realizacija vježbe vrši se sljedećim koracima:

Korak 1. Spojite Funkcijski generator i osciloskop. Odabire se sinusni oblik signala i postavlja efektivna vrijednost napona $U = 5$ V.

Korak 2. Elementi na slici 3.6c povezani su vodičima koji čine niz strujnih krugova s različitim vrstama impedancija, prikazanih na slici 2.

Korak 3. Prijenosni modul za mjerenje i analizu NI-myDAQ spojen je kao ampermetar u krug, za mjerenje efektivne vrijednosti izmjenične struje, s mjernim opsegom od 200 mA.

Napomena: Budite oprezni prilikom spajanja prijenosnog modula NI myDAQ. Kako bi se izbjegla trajna oštećenja opreme, treba biti oprezan pri pravilnom spajanju njezinih stezaljki i odabiru mjernog područja. myDAQ se koristi kao ampermetar, s opsegom mjerenja 200 mA.

Korak 4. Funkcijski generator spojen je na strujni krug, s unaprijed postavljenom efektivnom vrijednošću napona. Tijekom mjerenja prilagodimo vrijednosti frekvencije prema uputama u zadatku.

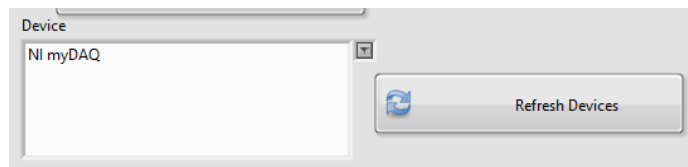
Sljedeći se koraci odnose na mjerenje električne struje u krugu.

Napomena: Tijekom praktičnog izvođenja vježbe vodite računa da struja kroz pojedine elemente u strujnom krugu ne prelazi dopuštenu vrijednost, u skladu sa karakteristikama električnih elemenata. Iz tih razloga, za



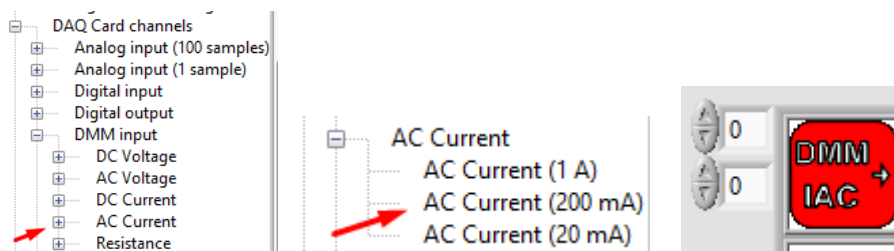
elemente čije su karakteristike navedene u vježbi, mjerenja Z i I, za strujne krugove sa slike 2b i slike 2c, treba provoditi samo za zadane vrijednosti frekvencije u tablicama.

Korak 5. Nakon prijave na platformu Corela, odaberite NI myDAQ u prozoru za odabir vanjskog uređaja (slika 5.3). Ako se u prozoru ne prikaže nijedan uređaj, pritisnite kontrolni gumb "Refresh Devices".



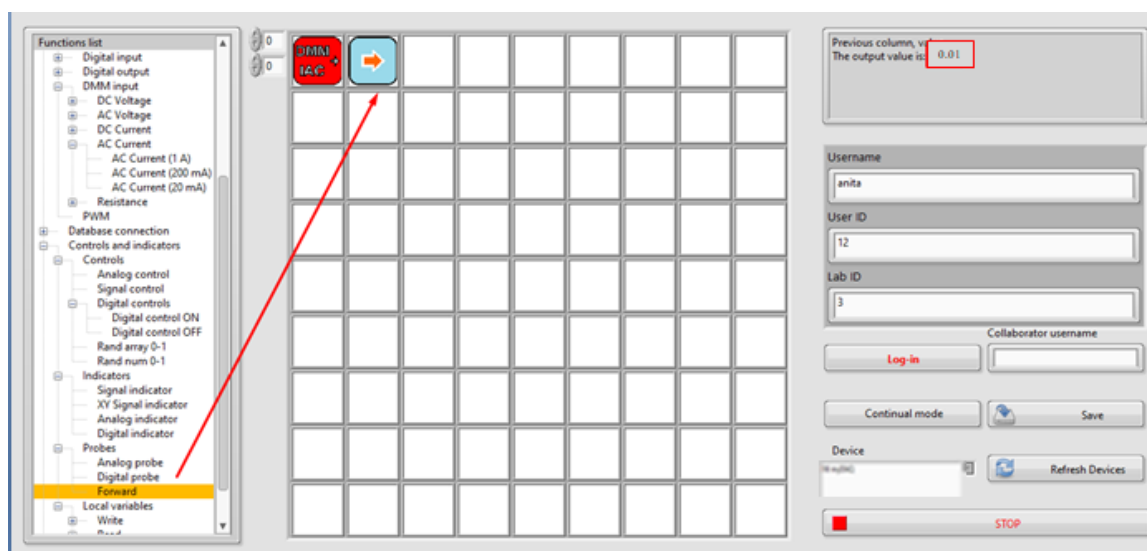
Slika 5.3: Odabir akvizicijske kartice

Da biste mogli izmjeriti efektivnu vrijednost izmjenične struje putem NI myDAQ, potrebno je aktivirati funkciju kanala DAQ kartice. S popisa funkcija "DMM input" odaberite ampermetar za izmjeničnu struju i mjerno područje od 200 mA (slika 5.4).



Slika 5.4: Aktiviranje digitalnog ampermetra s mjernim opsegom 200mA

Korak 6. Izmjerena efektivna vrijednost struje očitava se postavljanjem funkcije "Forward" na radnu površinu, pored digitalnog ampermetra (slika 5.5).



Slika 5.5: Očitavanje izmjerene vrijednosti struje

Postupak iz koraka 6 ponavlja se za svaku vrijednost frekvencije, dane u tablicama, prema odabranom strujnom krugu.

Izmjerene struje unose se u Tablicu 5 (a; b; c; d).



Tablica 5a: Strujni krug s omskim otporom

f(Hz)	100	1000	10000	100000
I(A)				
Z(Ω)				

Tablica 5b: Strujni krug s zavojnicom

f(Hz)	5000	10000	50000	100000
I(A)				
Z(Ω)				

Tablica 5c: Strujni krug s kondenzatorom

f(Hz)	100	200	500	1000
I(A)				
Z(Ω)				

Tablica 5d: Serijski RLC krug

f(Hz)	100	1000	10000	100000
I(A)				
Z(Ω)				

Impedancija Z, za svaku od zadanih frekvencija u tablicama, izračunava se prema formuli:

$$Z = \frac{U}{I} [\Omega]$$

Pitanje 1: Kako se mijenja struja povećavanjem frekvencije u strujnom krugu na slici 2b?

Pitanje 2: Kako se mijenja struja povećavanjem frekvencije u strujnom krugu na slici 2c?

5.2 Usporedba rezultata

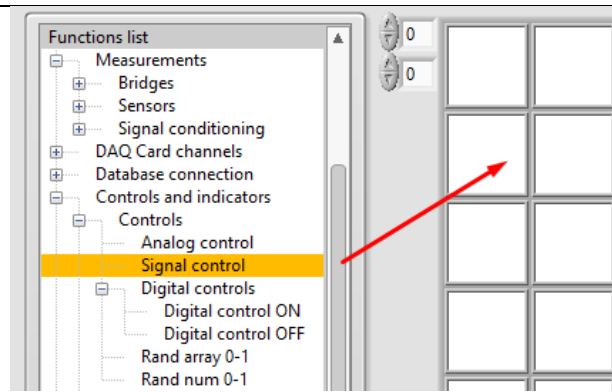
Vrijednosti podataka frekvencije i impedancije bilježe se na platformi CORELA i šalju na obrazovnu platformu u skladu s postupkom opisanim u točki 6.

Usporedite dobivene podatke o impedancijama s podacima dobivenim od učenika 1 i učenika 2

6. Postupak upisivanja i slanja podataka na obrazovnu platformu

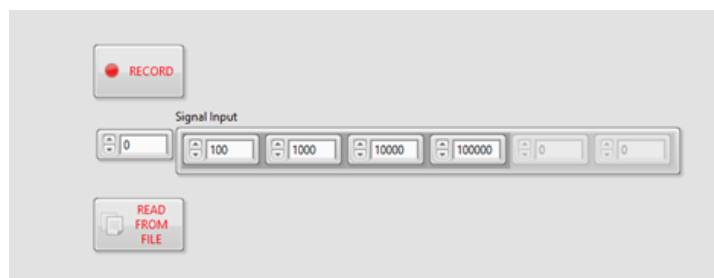
Korak 1: Upisivanje i spremanje podataka

S popisa funkcija, iz " Database connection" odabiremo funkciju " Signal control" i lijevim klikom miša na prazno polje na radnoj površini postavljamo funkciju.



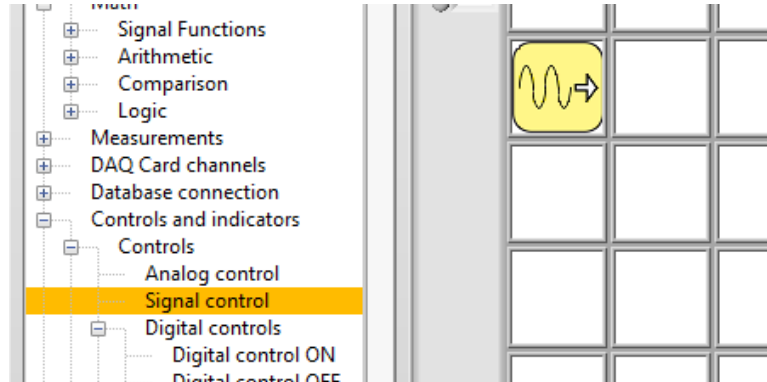
Slika 6.1: Postavljanje funkcije "Signal control"

Otvora se skočni prozor u koji unosimo vrijednosti frekvencije u obliku niza (slika 6.2).



Slika 6.2: Unos podataka

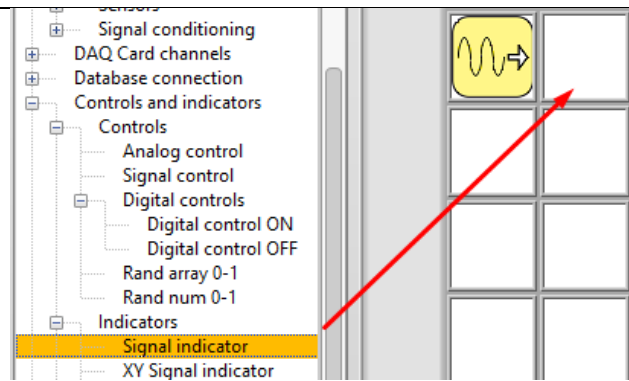
Podatke bilježimo pritiskom na gumb "Record" (slika 6.2).



Slika 6.3: Izgled zaslona nakon unosa podataka

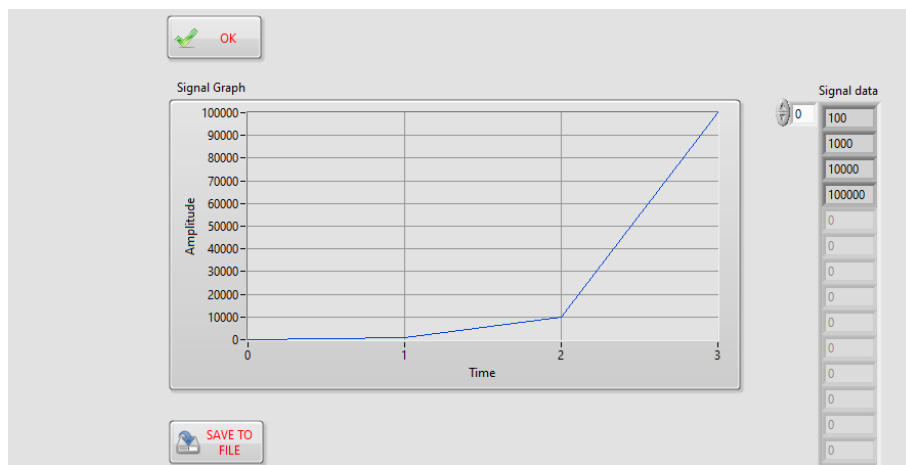
Korak 2: Pregledavanje snimljenih podataka

Postavljanjem funkcije "Signal indicator", u polju s desne strane, pored funkcije "Signal Control" (slika 6.4), može se pristupiti podacima unesenim na platformi Corela.



Slika 6.4: Postavljanje funkcije "Signal indicator"

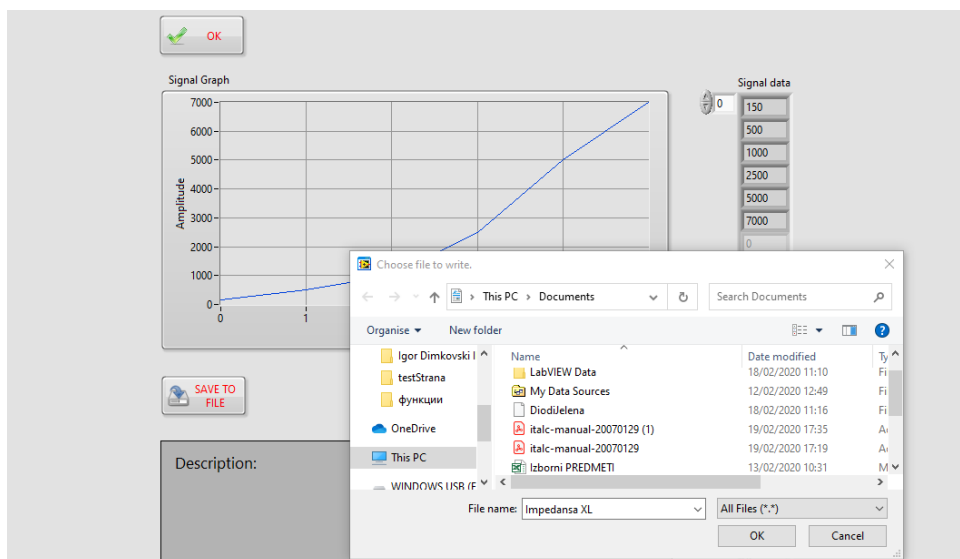
Otvora se skočni prozor s grafičkim prikazom unesenih vrijednosti frekvencije (slika 6.5).



Slika 6.5: Grafički prikaz unesenih vrijednosti frekvencije

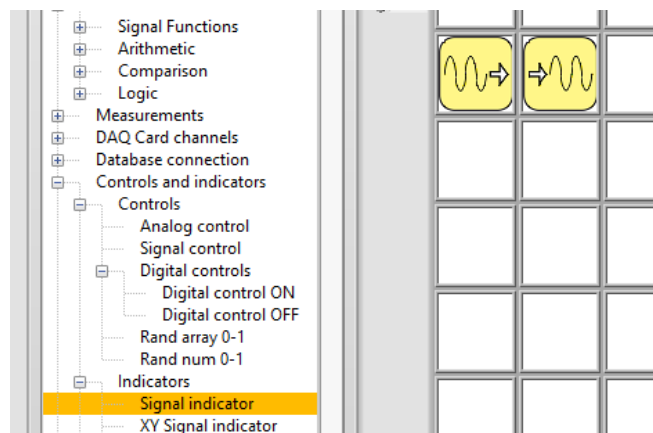
Korak 3: Spremanje snimljenih podataka u dokument

Odabirom izlazne funkcije "Signal Indicator" i pritiskom na tipku "SAVE TO FILE" rezultati se zapisuju u zasebni dokument koji se može dalje koristiti za usporedbu i obradu (Slika 6.6.)



Slika 6.6: Spremanje rezultata

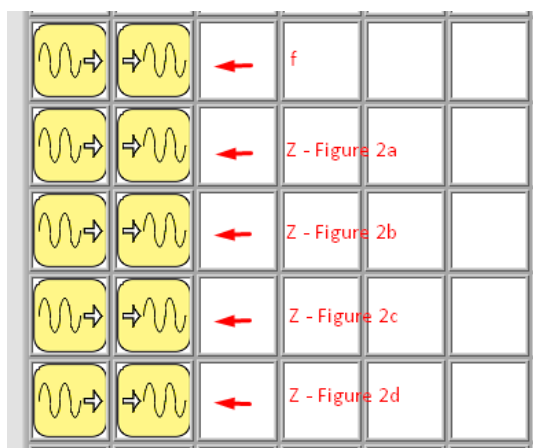
Zatim pritisnite gumb "OK" i vratite se na radnu površinu platforme (slika 6.7).



Slika 6.7: Radna površina nakon postavljanja funkcije "Signal indicator"

Korak 4: Unos podataka o impedanciji

Postupak se ponavlja za unos izračunatih vrijednosti impedancije. Postavljanjem novih funkcija "Signal control" i "Signal indicator" na radnoj površini, platforma Corela bilježi i pregledava podatke o impedanciji za sva četiri strujna kruga iz zadatka (slika 6.8).

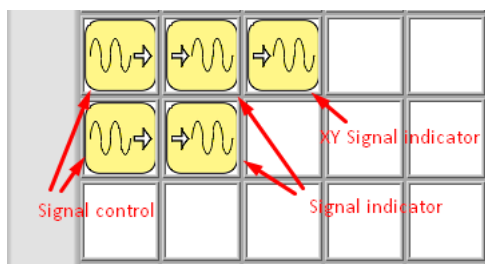


Slika 6.8: Prikaz unesenih podataka zadatka na platformi CORELA

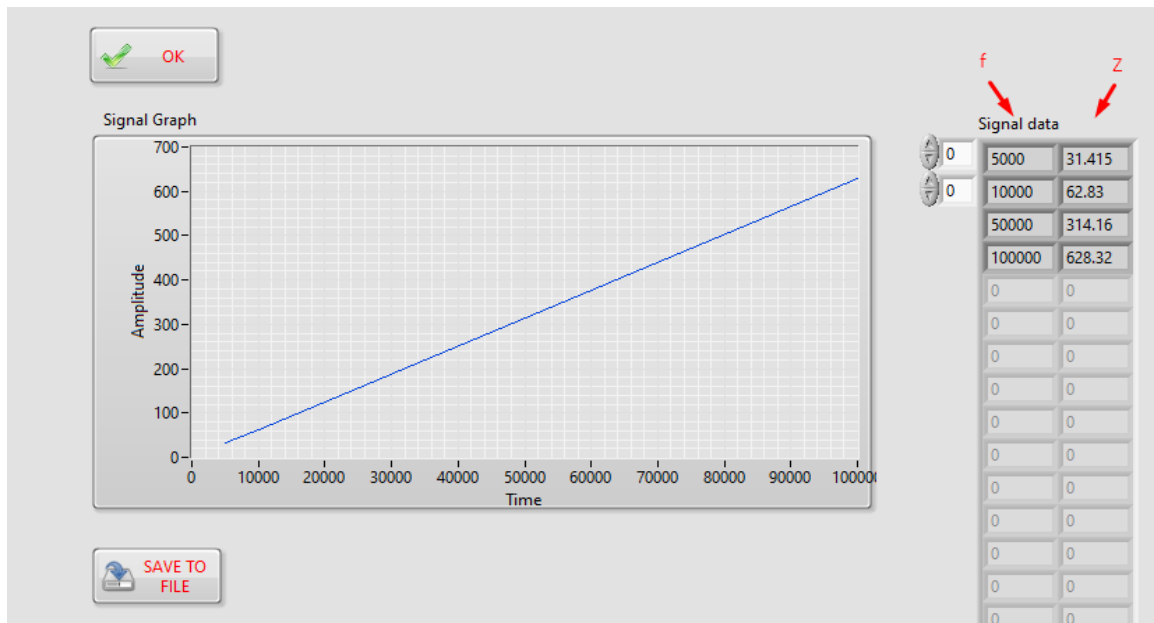
Korak 5: Grafički prikaz ovisnosti impedancije o promjeni frekvencije

(nije obavezno)

Da bi se dobio grafički prikaz ovisnosti jedne od impedancija o frekvenciji, potrebno je unijeti podatke i o frekvenciji i o impedanciji, a zatim postaviti funkciju indikatora signala XY (slika 6.9).



Slika 6.9: Slijed funkcija za grafički prikaz ovisnosti između dviju veličina



Slika 6.10: Grafički prikaz ovisnosti impedancije o frekvenciji za strujni krug s idealnom zavojnicom

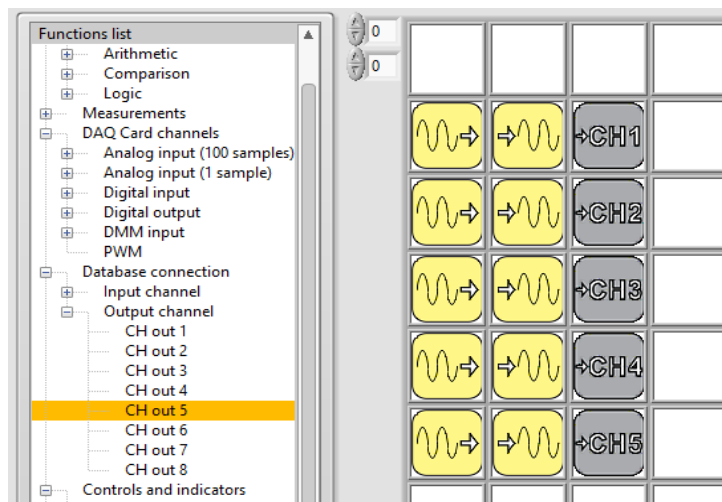
Korak 6: Slanje podataka na obrazovnu platformu

Slanje podataka na obrazovnu platformu (Moodle) vrši se pomoću funkcije "Database connection" (slika 6.11), odabirom izlaznih kanala iz "Output channel". Da biste poslali podatke o frekvenciji, odaberite CHout 1.



Slika 6.11: Slanje podataka na obrazovnu platformu

Podaci impedancije, za sve četiri vrste strujnih krugova u zadatku, šalju se na obrazovnu platformu kroz preostale izlazne kanale (CH out2, CH out3,).



Slika 6.12: Zaslón nakon slanja rezultata na obrazovnu platformu

Nakon završetka zadatka uđite u „chat sobu“.

Usporedite i komentirajte rezultate dobivene na tri načina:

1. izračunom (Učenik 1)
2. simulacijom (Učenik 2)
3. mjerenjem (Učenik 3)

Video materijal:

https://youtu.be/sW_nFX7Ka-k

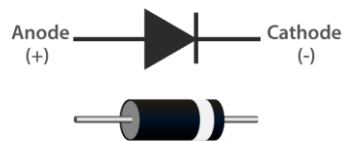


IV Statička strujno – naponska karakteristika ispravljačke diode

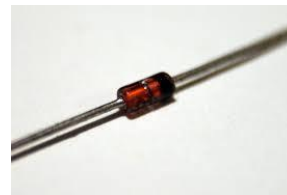
Mjerenje statičkih strujno-naponskih karakteristika ispravljačke diode

1. Uvod

Diode su elektronički poluvodički elementi s jednim PN spojem i dva terminala - anodom i katodom.

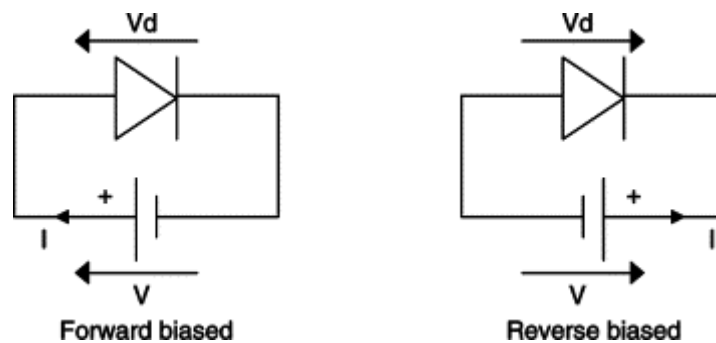


Slika 1.1: Simbol diode



Slika 1.2: Izgled diode

Ovisno o tome je li anoda na višem ili nižem potencijalu od katode, dioda može biti propusno ili nepropusno polarizirana.



Slika 1.3: Propusno i nepropusno polarizirana dioda

Vrijednost struje diode može se izračunati jednadžbama:

$$i_D = I_S \left[e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right]$$

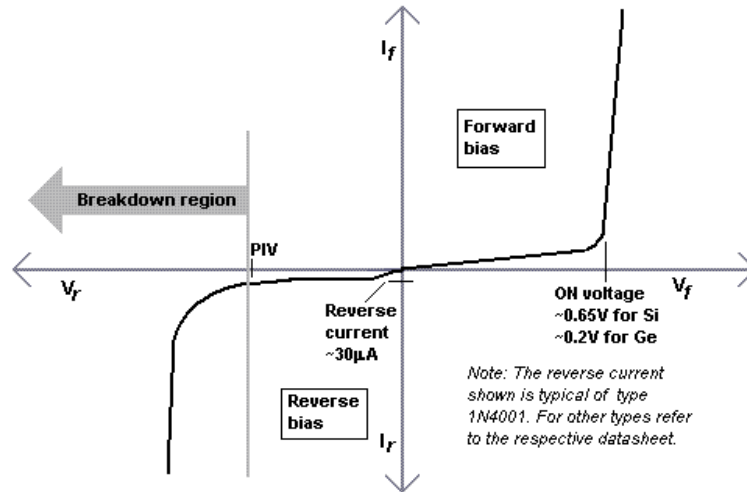
$$V_T = \frac{kT}{q} \approx 26mV$$

$$i_D \approx I_S e^{\frac{V_D}{nV_T}}$$

i_D i V_D su struja i napon diode. I_S je inverzna struja zasićenja diode u rasponu 10^{-12} A. n je 1 za germanijevu diodu, a n je 2 za silicijsku diodu. V_T je ekvivalent napona za temperaturu.

Grafički prikaz strujno – naponske karakteristike diode prikaz je ovisnosti struje o naponu, kako za propusno tako i za nepropusno polariziranu diodu..

Slika 1.4 prikazuje statičku strujno – naponsku karakteristiku diode 1N4001.



Slika 1.4 Statička strujno - naponska karakteristika 1N4001 diode.

2. Teorijski zadaci (svi učenici)

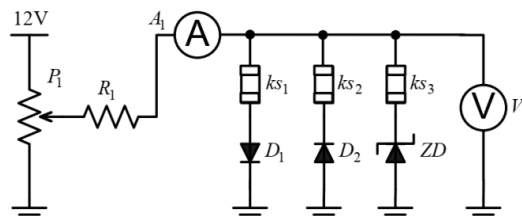
Na grafikonu statičkih karakteristika diode istaknite karakteristične parametre i objasnite pojmove:

- napon praga U_T (preklopni napon),
- reverzna struja zasićenja I_r
- reverzni napon proboja U_{BR} .

3. Proračun vrijednosti struje diode 1N4001 ovisno o naponu napajanja (Učenik 1)

Korištenjem sklopa prikazanog na slici 3.1 zabilježite statički karakteristični napon diode u slučaju:

- A) propusno polarizirana dioda (kratki spoj u položaju ks_1),
- B) nepropusno polarizirana dioda (kratki spoj u položaju ks_2),



Slika 3.1: Strujni krug za mjerenje statičkih karakteristika dioda

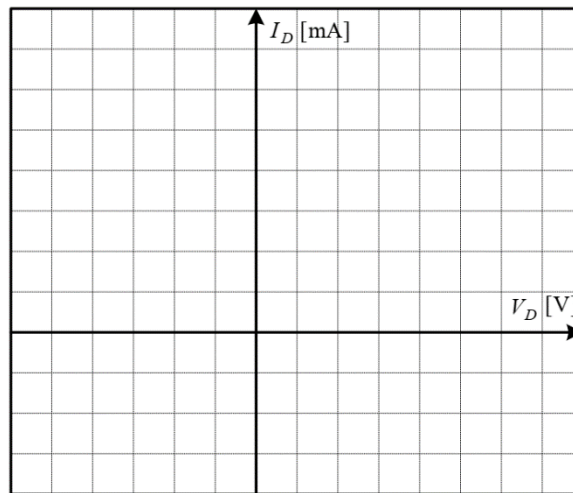
Postupak

U tablicu 3.1 unesite izračunate vrijednosti struje, za vrijednosti napona napajanja, u slučaju propusno polarizirane diode.

Tablica 3.1: Struja za propusno polariziranu diodu

V_d [V]	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.7
I_d [mA]								

Grafički predstavite izračunate vrijednosti u danom koordinatnom sustavu sa slike 3.2 te skicirajte strujno – naponsku karakteristiku za propusno i nepropusno polariziranu diodu.



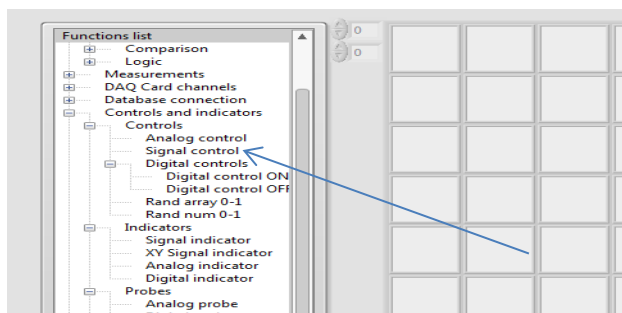
Slika 3.2: Strujno - naponska karakteristika za 1N4001 diodu

Odredite vrijednost napona praga U_T i probojnog napona U_{BR} na grafikonu.

$U_T = \underline{\hspace{2cm}}$ $U_{invp} = \underline{\hspace{2cm}}$

Na Moodle platformu zapišite zadane vrijednosti za prednapon V_d i izračunate vrijednosti za struju I_d . Za tu svrhu morate se prijaviti na platformu Corela.

Odabirom funkcije „Signal control“ s izbornika na lijevoj strani obrazovne platforme, kao na slici 3.3A i 3.3B, rezultati se unose kao niz vrijednosti prikazanih na slici 3.4, jedan niz za V_d i drugi za I_d .

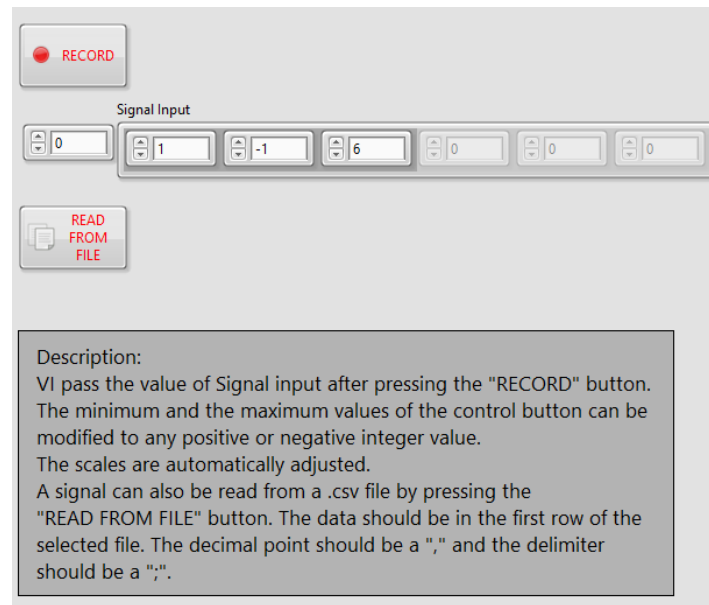


Slika 3.3 A



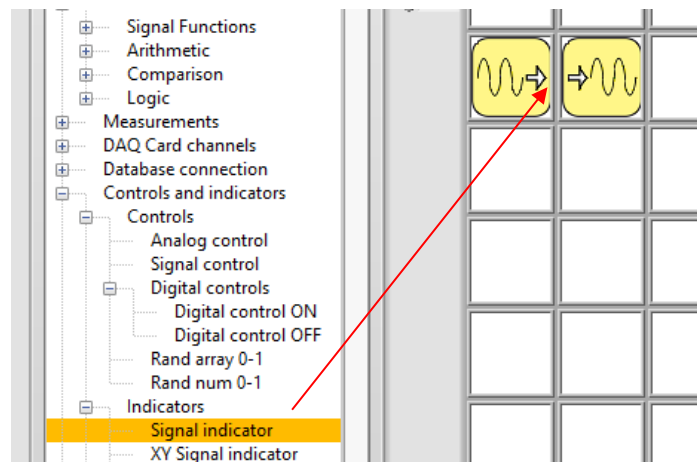
Slika 3.3B

Slika 3.3: Izbor funkcije Signal control



Slika 3.4: Unos podataka kao niza vrijednosti

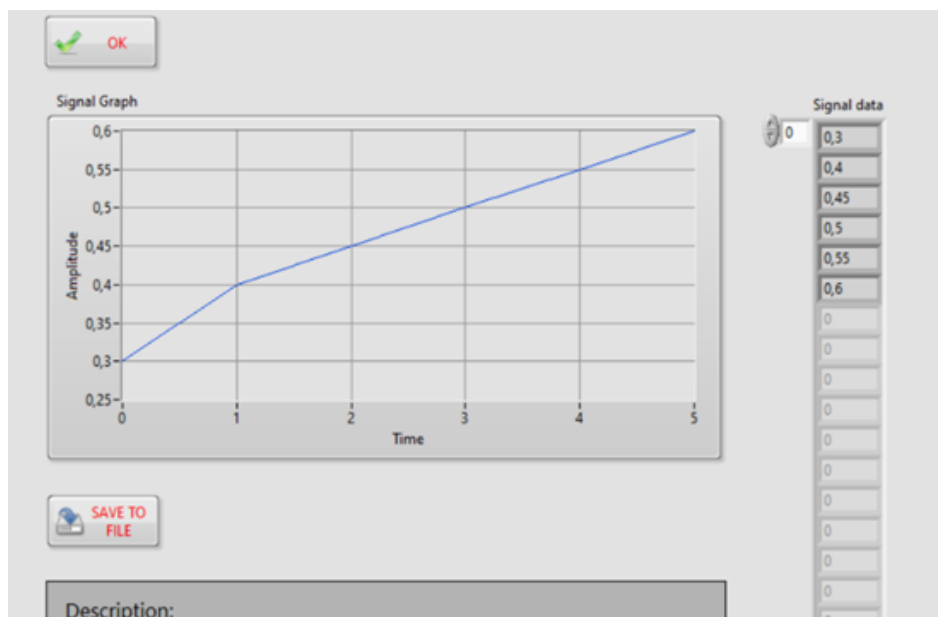
Postavljanjem funkcije "Signal indicator", u polju s desne strane, pored funkcije "Signal Control", slika 3.5, može se pristupiti unesenim podacima na platformi Corela. Otvara se skočni prozor s grafičkim prikazom unesenih vrijednosti napona, tj. struje kroz diodu.



Slika 3.5: Pristup unesenim podacima pomoću funkcije Signal indicator

Funkcija Signal indicator omogućuje grafički prikaz unesenih podataka kao vremensku funkciju, slika 3.6.

Napomena: Grafički prikaz podataka s funkcijom Signal indicator ne odnosi se na ovu vježbu!

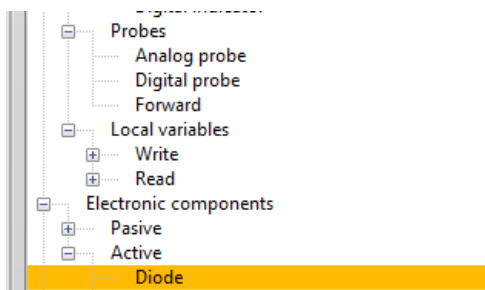


Slika 3.6: Prikaz unesenih podataka pomoću funkcije Signal indicator

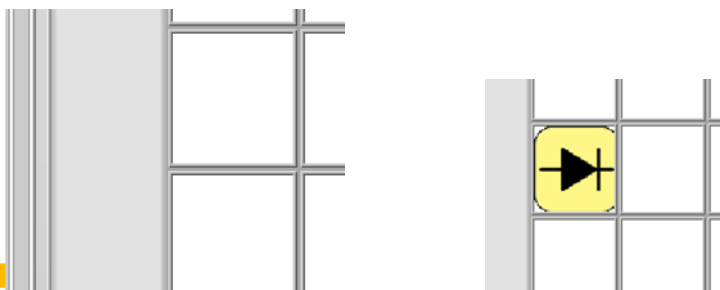
- Iz obrazovne platforme nacrtajte strujno - naponsku karakteristiku diode pomoću funkcije XY Signal indicator, kako je opisano u dijelu 3.2 vježbe!
- Da bi rezultati bili vidljivi ostalim korisnicima, moraju se postaviti na obrazovnu platformu. To se postiže pomoću Database connection → Output channel → CH out x, gdje je x- jedan od izlaznih kanala.
- Objasnite ovisnost struje o naponu diode tijekom propusne i nepropusne polarizacije!

4. Simulacija mjerenja statičkih karakteristika dioda pomoću implementiranih funkcija u Corela platformi (Učenik 2)

Prijavite se dodijeljenim korisničkim imenom i ID brojem i odaberite broj vježbe koju želite izvesti. S popisa funkcija Function List select→Electronic components →Active, aktivirajte funkciju diode Slika.4.1A i lijevim klikom miša postavite je u polje na radnoj površini platforme, kao što je prikazano na slici 4.1B.



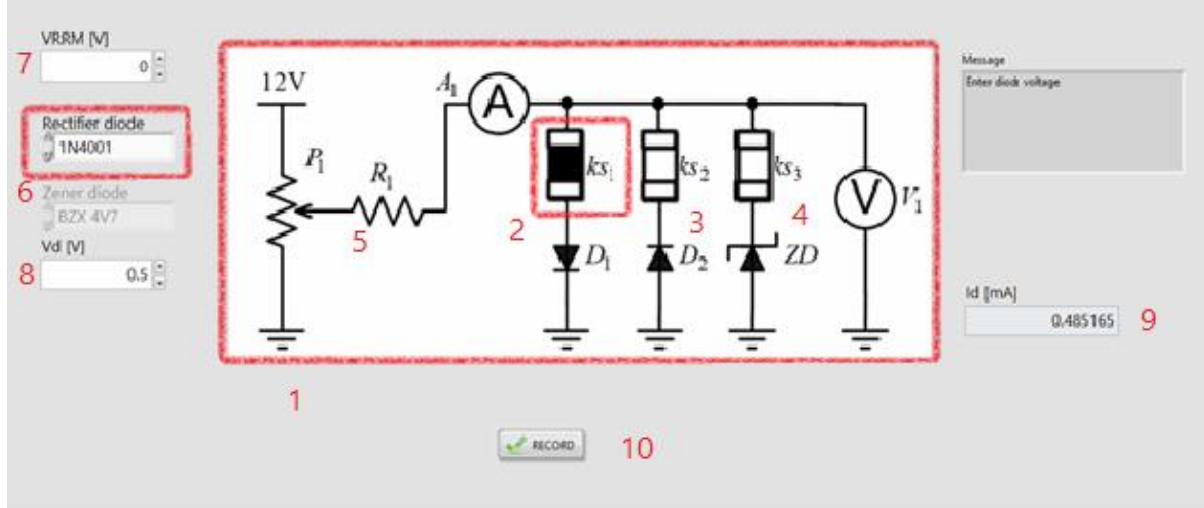
Slika 4.1A



Slika 4.1B

Slika 4.1: Oznaka diode postavljene na radnu površinu platforme

Komponente funkcije diode prikazane su na slici 4.2.



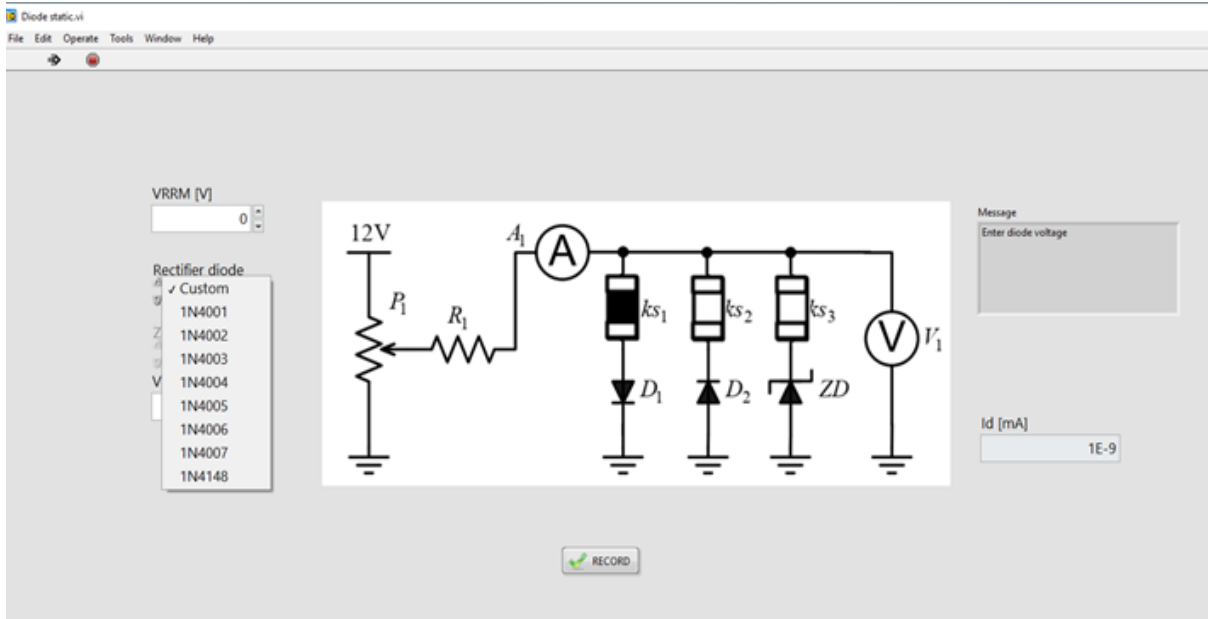
Slika 4.2 Komponente funkcije diode

Opis komponenata funkcije diode:

1. Strujni krug za ispitivanje naponske karakteristike diode
2. Sklopka ks1, za konfiguraciju propusne polarizacije diode
3. Sklopka ks2, za konfiguraciju nepropusne polarizacije diode
4. Sklopka ks3, za konfiguraciju Zener diode
5. Otpornik s otpornošću $R_1 = 470\Omega$
6. Ispravljačka dioda - polje za odabir tipa diode
7. Polje za definiranje napona (samo ako je odabir diode prilagođeni tip). U ostalim slučajevima odaberite vrijednost iz kataloga u Prilogu 1. ovisno o tipu diode.
8. Polje za unos vrijednosti napona V_d
9. Polje za čitanje vrijednosti struje I_d
10. Gumb za snimanje, kad kliknete na njega, simulacija je završena.

Postupak:

- Postavljanjem funkcije Diode, na radnoj površini otvara se prozor kao na slici 4.2
- Odabirom jedne od sklopki ks odabire se konfiguracija sklopa, tj. polarizacija diode. Odabirom sklopke ks1 s izmjerit će se struja, ovisno o naponu propusno polarizirane diode.
- Odaberite vrstu diode; za ovu vježbu je to dioda 1N4001 (slika 4.3).



Slika 4.3 Odabir tipa diode za snimanje statičkih karakteristika propusno polarizirane diode

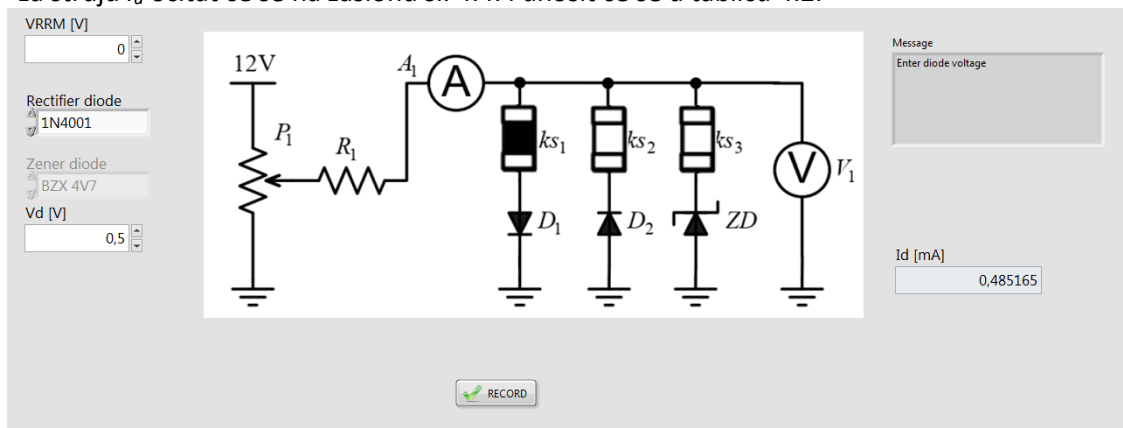
- Prema katalogu u Dodatku 1. određuje se V_{rrm} diode.
- Vrijednosti V_d određene su u tablici 4.1.

Tablica 4.1: Vrijednosti I_d ovisno o V_d , za propusno polariziranu diodu

V_d [V]	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
I_d [mA]						

Napomena: Za vrijednost napona 0,7 V, dioda se pokvari

- Za svaku vrijednost napona V_d pritiskom na RECORD dobiva se vrijednost struje I_d . Dobiveni rezultati za struju I_d očitati će se na zaslону sl. 4.4. i unositi će se u tablicu 4.2.



Slika 4.4: Simulacija mjerenja struje strujno - naponske karakteristike za propusno polariziranu diodu

Isti postupak koristi se za nepropusno polariziranu diodu odabirom ks 2. Vrijednosti struje diode unesite u tablicu 4.2.



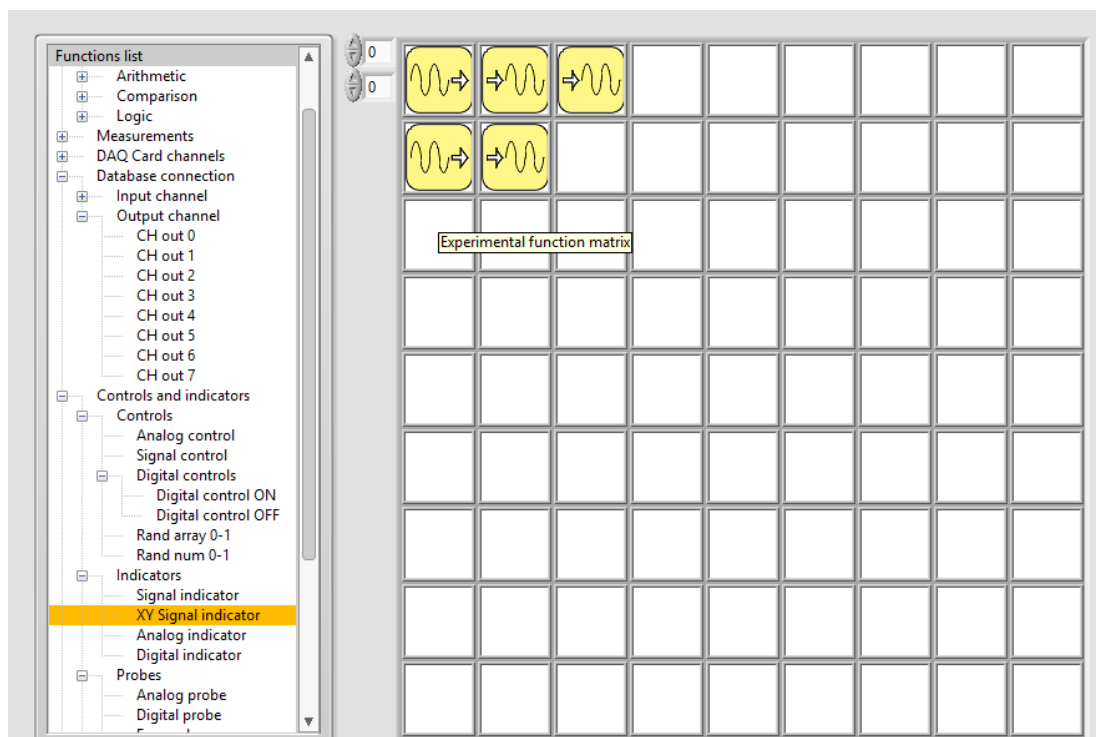
Tablica 4.2: Vrijednosti I_d ovisno o V_d , za nepropusno polariziranu diodu

V_d [V]	-2	-4	-6	-8	-10
I_d [μ A]					

Zadatak: Predstaviti ovisnost struje o naponu za diodu, tj. strujno - naponsku karakteristiku diode **2D grafom!**

To se postiže sljedećim redoslijedom:

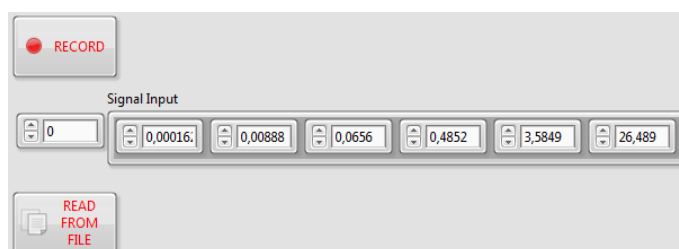
- Odabirom funkcije **Signal Control** slika 4.5, otvara se prozor u kojem su zapisane vrijednosti napona V_d , slika 4.6.
- Korištenjem funkcije **Signal Indicator**, koja se postavlja na radnu površinu pored funkcije Signal Control, slika 3.2.5, pristupa se unesenim podacima na platformi Corela.
- Postupak se ponavlja za strujne vrijednosti diode, slike 4.5 i 4.7
- Odabirom funkcije **XY- Signal indicator** i njegovim postavljanjem na radnu površinu, slika 4.5, zaslon jasno prikazuje strujno – naponsku karakteristiku, slika 4.8.



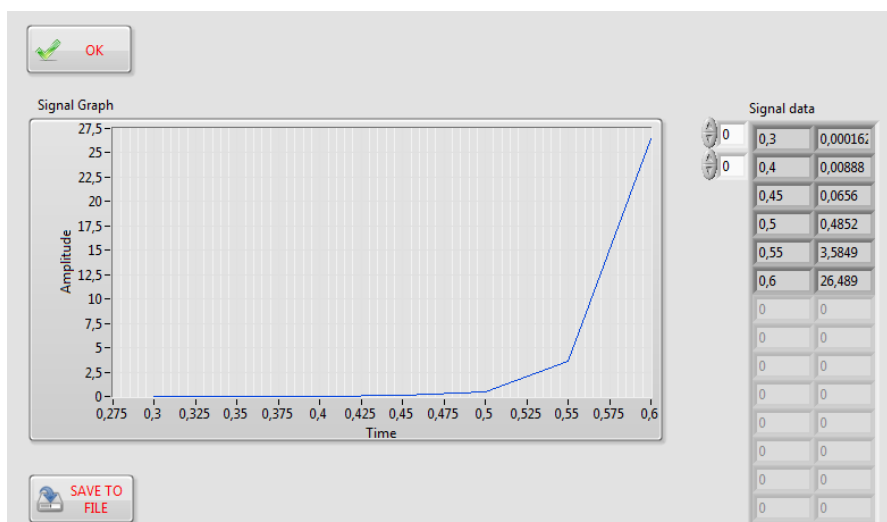
Slika 4.5: Izbor funkcije XY – Signal indicator



Slika 4.6: Unošenje vrijednosti V_d



Slika 4.7: Unos vrijednosti Id



Slika 4.8: Strujno - naponska karakteristika prikazana na 2D grafu pomoću funkcije XY Signal indicator

Zadatak: Na dobivenom grafikonu odredite prag provođenja diode, napon proboja i inverzni napon proboja diode.

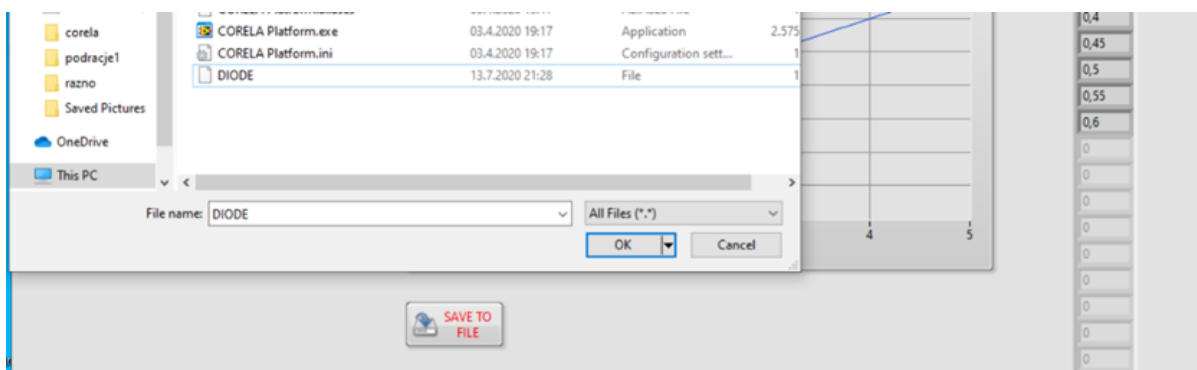
Podaci se mogu prenijeti na obrazovnu platformu pomoću funkcije **Database connection**, slika 4.9, odabirom izlaznih kanala iz **Output channel**.



Slika 4.9: Prijenos izmjerenih vrijednosti na obrazovnu platformu

Napomena: Svaka skupina učenika trebala bi koristiti različite kanale za svoje podatke. Platforma nudi 8 ulaznih i 8 izlaznih kanala.

Slika 4.10. prikazuje da se odabirom izlazne funkcije **Signal Indicator** i gumbom **SAVE TO FILE**, rezultati mogu zapisati u dokument i dalje koristiti za usporedbu i obradu.



Slika 4.10 Snimanje rezultata u dokument

Pritiskom na gumb "OK" vraćate se na radnu površinu platforme.

5. Praktična realizacija i mjerenje (Učenic 3)

Required material for practical realization of the exercise:

Potreban materijal za praktičnu realizaciju vježbe:

- Otpornik $R_1 = 470 \Omega$
- Dioda 1N4001
- Promjenjivo istosmjerno napajanje, Slika 5.1
- Kartica za prikupljanje podataka NI myDAQ, Slika 5.2
- Digitalni multimetar

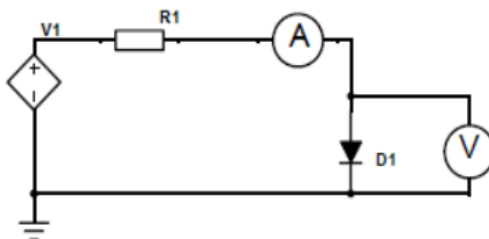


Slika 5.1 Promjenjivo istosmjerno napajanje

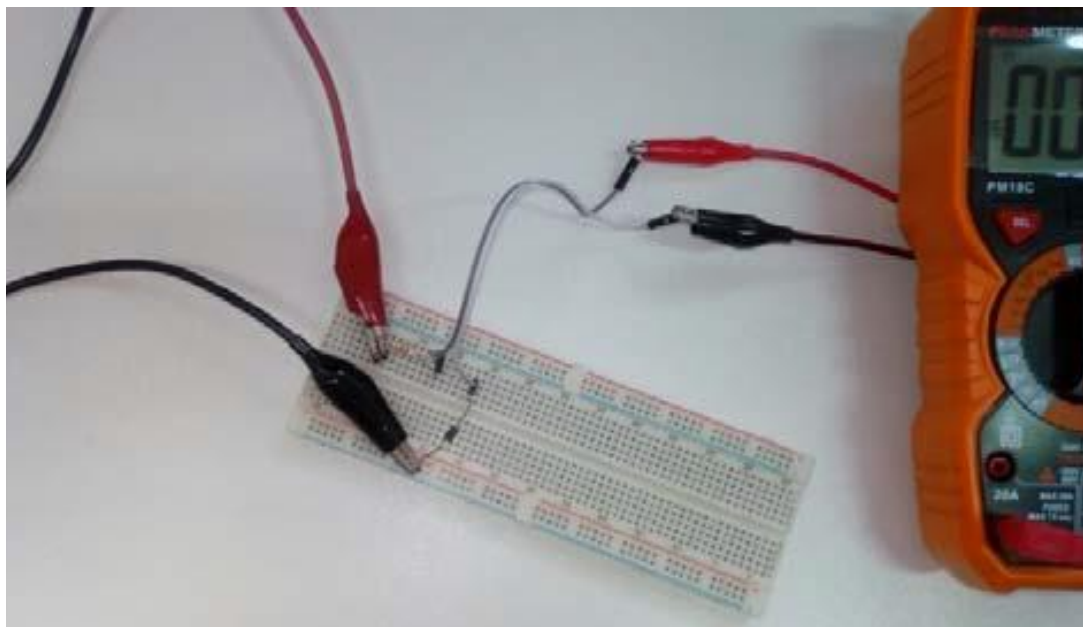


Slika 5.2 NI myDAQ uređaj

Spojite strujni krug prema shemi danoj na slici 5.3.

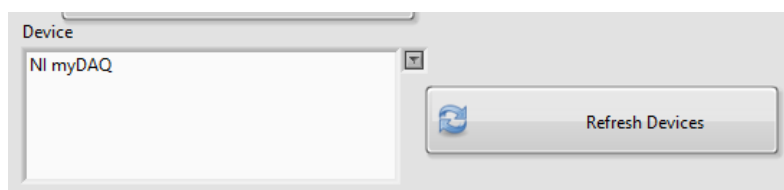


Slika 5.3: Shema spoja



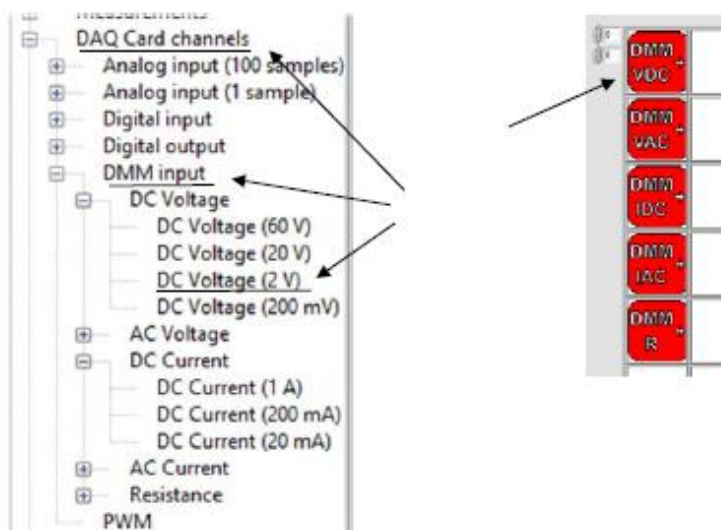
Slika 5.4: Strujni krug za praktičnu realizaciju vježbe

1. Spojite istosmjerno napajanje prema strujnom krugu na slici 5.3
Napomena: Budite oprezni s polaritetom stezaljki istosmjernog napajanja. Pozitivni pol napona je crvene boje i spojen je na otpor R1, a negativni u crnoj boji i spojen na GND.
2. Digitalni multimetar, koji se koristi kao ampermetar, povezan je u seriju s elementima kruga. Koristi se za mjerenje struje kroz diodu Slika 5.3 i Slika 5.4.
3. Koristeći platformu Corela, napon na stezaljkama dioda mjeri se pomoću NI myDAQ akvizicijske kartice, kao voltmetar. Njegove su stezaljke postavljene paralelno s diodom, na mjestu označenom za voltmetar V. Za mjerenje napona koriste se DMM funkcije - istosmjerni napon s DMM ulaza (DMM functions - DC Voltage from the DMM input), slika 5.6.
4. Nakon što povežete sve elemente i instrumente, i nakon što uključite uređaje, prijavite se na platformu Corela. U prozoru za odabir vanjskog uređaja " Device window" odaberite NI myDAQ karticu (slika 5.5). Ako se u prozoru ne prikazuju uređaji, pritisnite kontrolnu tipku "Refresh Devices".



Slika 5.5: Izbor akvizicijske kartice

Da biste mogli izmjeriti napon diode putem akvizicijske kartice, potrebno je aktivirati funkciju kanala DAQ kartice. Odaberite s popisa funkcija "DMM input" istosmjerni napon s mjernim područjem od 2V, slika 5.6.

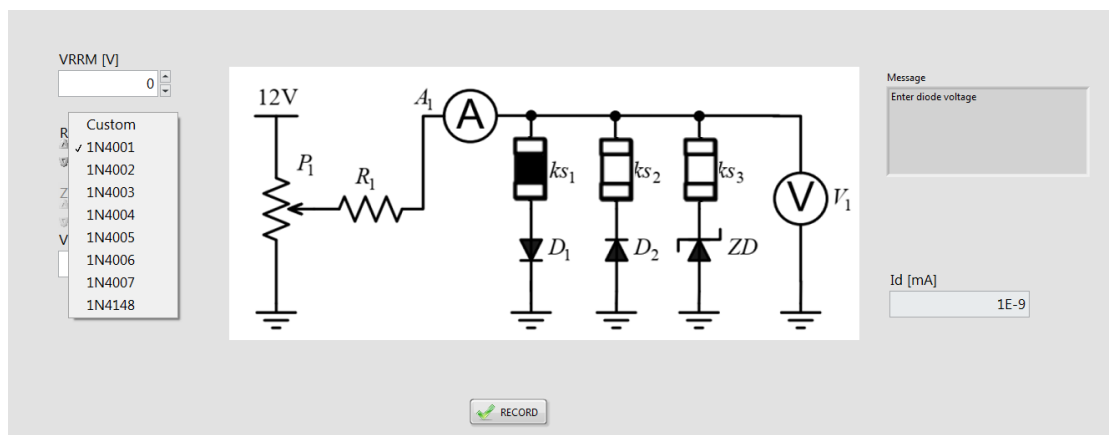


Slika 5.6: DMM unos / izgled ikone u odabranom polju

Napomena: Upotrijebite odgovarajuće priključne terminale NI myDAQ akvizicijske kartice. Budite oprezni s njihovim polaritetom, vezom i opsegom mjerenja.

Nakon završetka spajanja strujnog kruga, nastavite s mjerenjem struje koja prolazi kroz diodu. Slijedite korake za mjerenje struje:

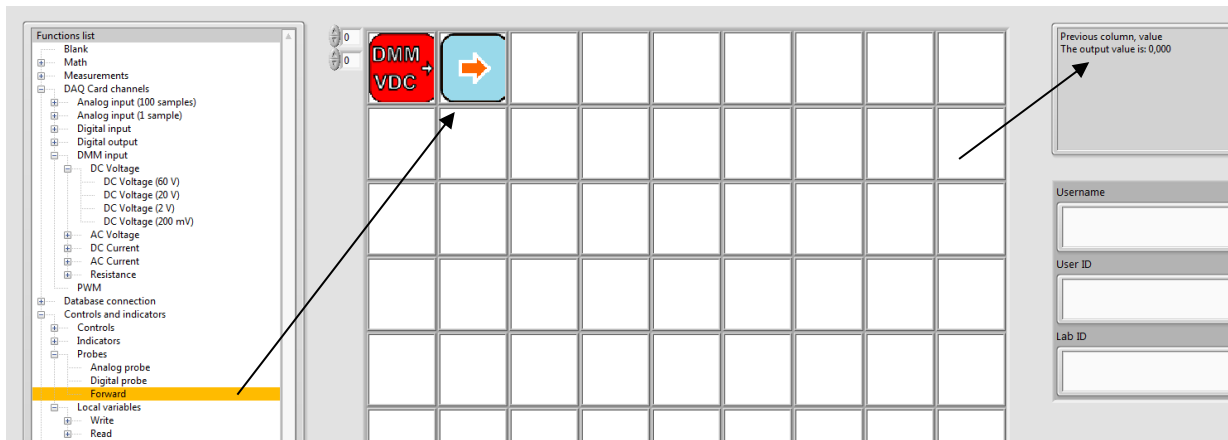
5. Aktivirajte funkciju „Diodes“ u virtualnom instrumentu. Pojavljuje se prednja ploča:



Slika.5.7 Prednja ploča kada je iz virtualnog instrumenta odabrana kartica "Diodes"

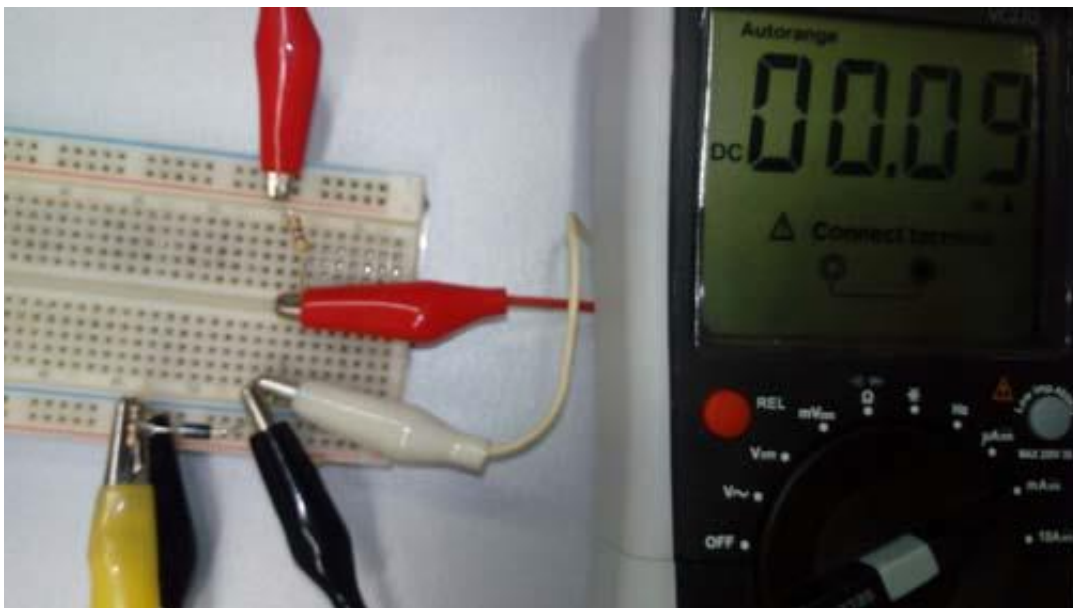
6. Promjenom istosmjernog napona napajanja ulazni napon V_d podešava se za vrijednosti dane u tablici 5.1, i mjeri virtualnim instrumentom.

Izmjerena vrijednost napona očitava se iz tekstnog okvira postavljanjem funkcije "Forward" na radnu površinu platforme, pored digitalnog voltmetra, slika Figure 5.8.



Slika 5.8: Očitavanje izmjerene vrijednosti napona iz okvira za poruke

Izmjerite vrijednost struje diode I_d s digitalnim multimetrom, koji se koristi kao ampermetar, slika 5.9, i zapišite je u tablicu 5.1.



Slika 5.9: Mjerenje struje diode digitalnim multimetrom / ampermetrom

Tablica 5.1: Vrijednosti struje za propusno polariziranu diodu

V_d [V]	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
I_d [mA]						

7. Koraci 5, 6 i 7 ponavljaju se za svaku od zadanih vrijednosti napona V_d u tablici 3.1.
8. Usporedite rezultate dobivene provedenim mjerenjima struje diode s teorijskim izračunima iz 1. dijela i simulacijama iz 2. dijela vježbe!



Gore opisani postupak ponavlja se za nepropusno polariziranu diodu, kada je sklopka ks2 iz strujnog kruga na slici 2.1 zatvorena. Vrijednosti struje I_d za zadane vrijednosti napona V_d zapisane su u tablici 5.2.

Tablica 5.2: Vrijednosti struje za nepropusno polariziranu diodu

V_d [V]	-2	-4	-6	-8	-10
I_d [μ A]					

- Pošaljite izmjerene rezultate na obrazovnu platformu!
- Nacrtajte strujno – naponsku karakteristiku diode pomoću funkcije XY function Signal indicator s obrazovne platforme.

Pitanje 1: Jesu li dobivene strujno-naponske karakteristike diode identične kada se dobivaju simulacijom?

Pitanje 2 : Ako dobivena strujno-naponska karakteristika diode nije identična kada se dobije simulacijom, što je razlog tome?

Pitanje 3: Kako strujno-naponske karakteristike diode, dobivene simulacijom i praktičnim mjerenjem, mogu biti što sličnije?

Pitanje 4 : Na koje ste poteškoće i probleme naišli tijekom realizacije ove vježbe?

Video materijal:

<https://www.youtube.com/watch?v=nSKkV7USLFA&feature=youtu.be>



6. Dodatak 1: Kataloške vrijednosti za diode implementirane na platformi

Tablica 1: Diode

2:

Simbol	U_{RRM} [V]	I_{FAV} [A]	I_{FSM} [A]	U_F [V] at I_{FAV} , $T=25^\circ\text{C}$	I_R [μA] at U_{RRM} , $T=25^\circ\text{C}$
1N4001	50	1	30	1	5
1N4002	100	1	30	1	5
1N4003	200	1	30	1	5
1N4004	400	1	30	1	5
1N4005	600	1	30	1	5
1N4006	800	1	30	1	5
1N4007	1000	1	30	1	5
1N4148	100	0,15	2	75	0,025/ $U_R=20\text{V}$

Tablica
Zener
diode

Simbol	U_Z [V] min	U_Z [V] max	I_Z [mA]	I_{Zmax} [mA]	$r_z(\text{max})$ [Ω]
BZX 4V7	4,4	5,0	45	215	13
BZX 5V6	5,2	6,0	45	190	7,0
BZX 6V8	6,4	7,2	35	155	3,5
BZX 7V5	7,0	7,9	35	140	3,0
BZX 8V2	7,7	8,7	25	130	5,0
BZX 9V1	8,5	9,6	25	120	5,0
BZX 10V	9,4	10,6	25	105	7,5
BZX 11V	10,4	11,6	20	97	8,0
BZX 12V	11,4	12,7	20	88	9,0
BZX 13V	12,4	14,1	20	79	10,0
BZX 15V	13,8	15,6	15	71	15,0
BZX 18V	16,8	19,1	15	62	20,0
BZX 20V	18,8	21,2	10	56	24,0
BZX 22V	20,8	23,3	10	52	25,0
BZX 24V	22,8	25,6	10	47	25,0
BZX 27V	25,1	28,9	8	41	30,0
BZX 30V	28,0	32,0	8	36	30,0



V Logičke funkcije

1. Teorijski zadaci (*student 1*)

1.1 Realizacija logičke funkcije

1.1.1) Uređaj bi trebao početi raditi kad se istovremeno aktiviraju senzor A i senzor B ili se senzor C deaktivira.

a) Zapišite odgovarajuću logičku funkciju.

Y =

RJEŠENJE:

$$Y = (A \cdot B) + \bar{C}$$

b) Ispunite tablicu stanja logičke funkcije.

Tablica stanja:

RJEŠENJE:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

c) Nacrtajte shematski dijagram logičke funkcije i strujnog kruga pomoću softvera TinyCAD. Izvršite simulaciju logičke funkcije i strujnog kruga pomoću softvera TinkerCad.

Koliko ste čipova koristili? Kakva je vrsta korištenih čipova?

RJEŠENJE: 3 chip units, 7432,7408,7404

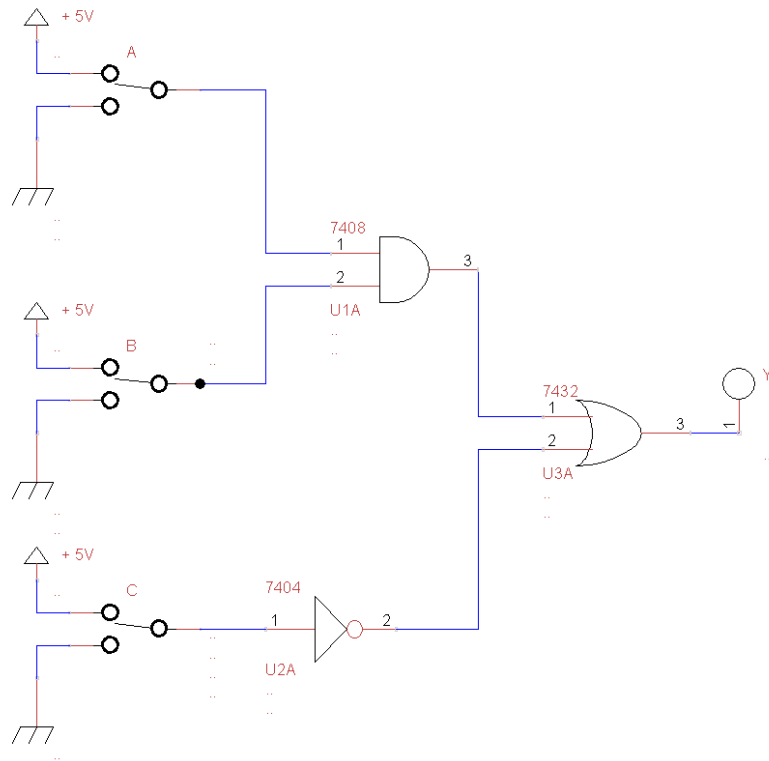


Figure 1.1.1: Shematski dijagram logičke funkcije i strujnog kruga.

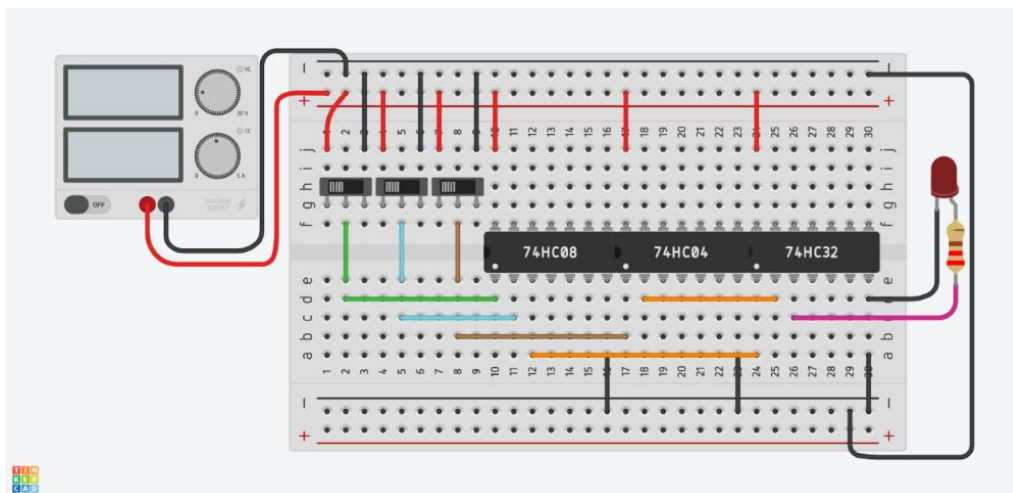


Figure 1.1.2: Shema strujnog kruga u simulatoru strujnih krugova Tinkercad.

1.1.2) Pretvorite logičku funkciju da biste potpuno implementirali formu NAND sklopa.

Savjet: Koristite dvostruku negaciju i De Morganov teorem.

$$Y = \overline{A + B} = \bar{A} * \bar{B}$$

De Morganov teorem



CORELA

RJEŠENJE:

$$Y = \overline{\overline{AB} + \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * C}$$

b) Nacrtajte shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujnog kruga pomoću softvera TinyCAD.

Izvršite simulaciju logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujnog kruga pomoću softvera TinkerCad.

Koliko ste čipova koristili? Koja je vrsta korištenih čipova?

RJEŠENJE: 1 čip, 7400

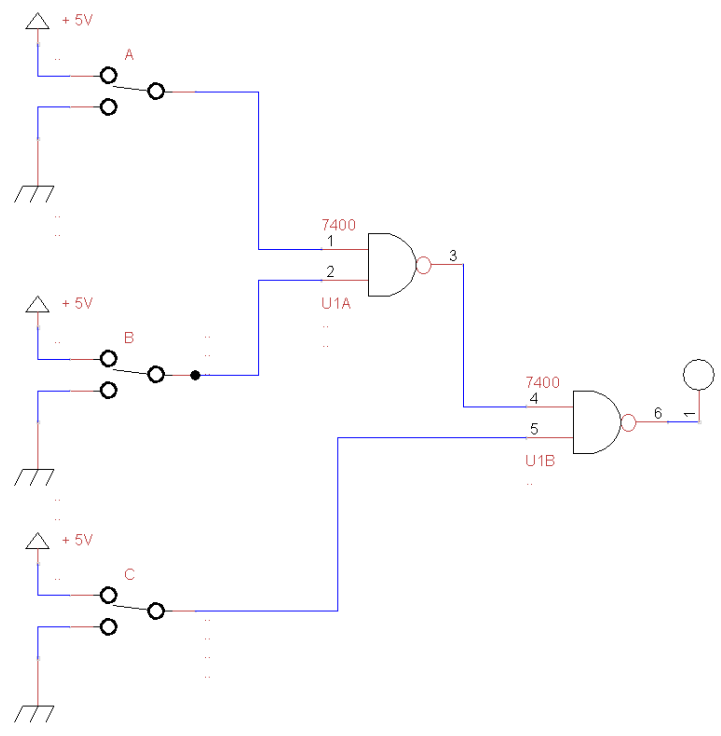


Figure 1.1.3: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

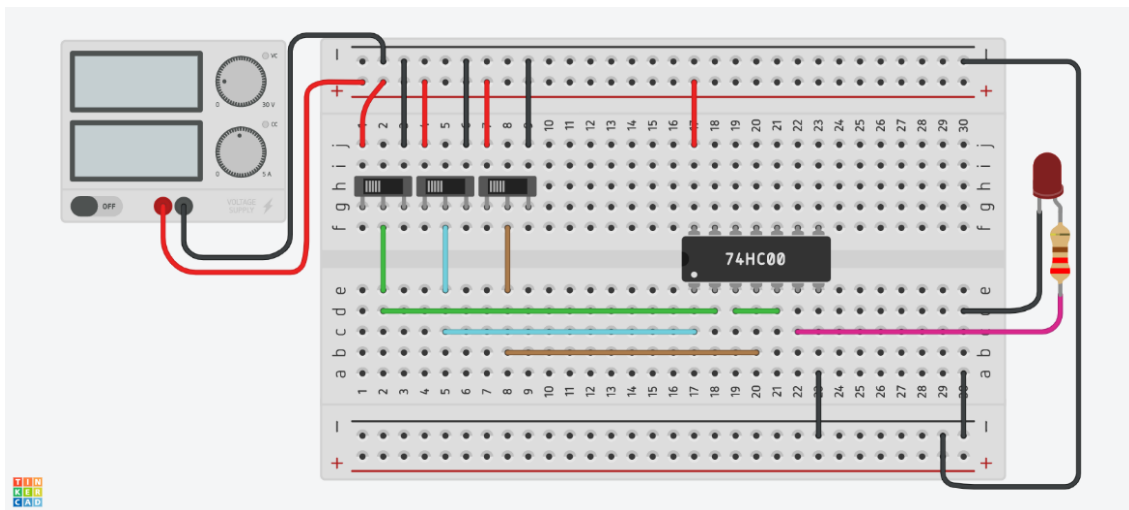


Figure 1.1.4: Shema strujnog kruga u simulatoru kruga Tinkercad.



1.2 Realizacija logičke funkcije korištenjem NAND sklopa

1.2.1) Logička funkcija opisana je sljedećom jednadžbom:

$$Y = \bar{A} B + C$$

Ispunite tablicu stanja logičke funkcije.

Tablica stanja:

RJEŠENJE:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

1.2.2) a) Pretvorite logičku funkciju da biste implementirali NAND sklop.

Savjet: Koristite dvostruku negaciju i De Morganov teorem.

RJEŠENJE:

$$Y = \overline{\overline{\bar{A} B + C}} = \overline{\overline{\bar{A} B} * \bar{C}}$$

Nacrtajte shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug pomoću softvera TinyCAD. Izvršite simulaciju logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujnog kruga pomoću softvera TinkerCad.

RJEŠENJE:

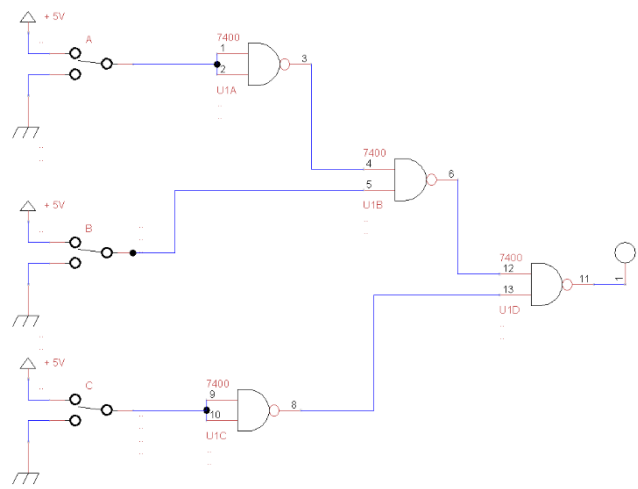


Figure 1.2.1: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

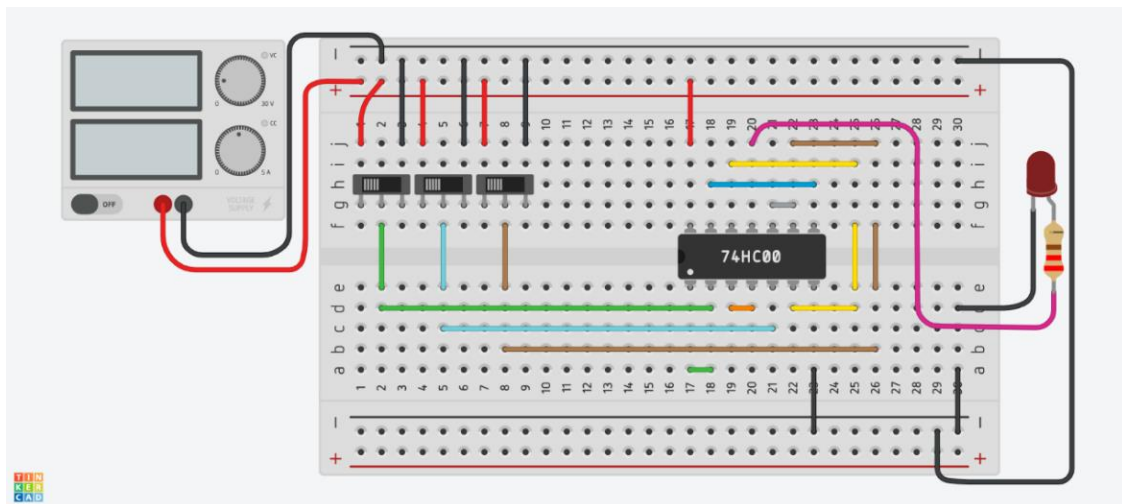


Figure 1.2.2: Shema strujnog kruga u simulatoru kruga Tinkercad.

1.3 Pojednostavljenje logičke funkcije korištenjem zakona Booleove algebre

1.3.1) a) Zapišite odgovarajuću logičku jednadžbu za sljedeći logički sklop.

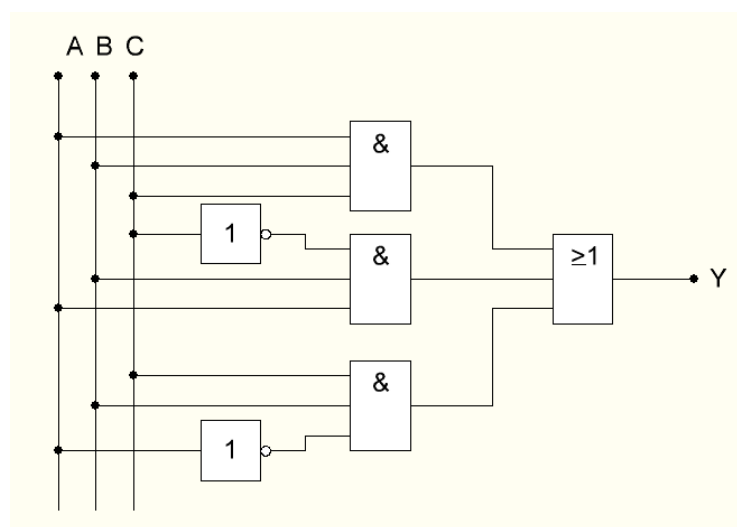


Figure 1.3.1: Shematski dijagram logičke funkcije.

RJEŠENJE:

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

b) Ispunite tablicu stanja logičke funkcije.



Tablica stanja:

RJEŠENJE:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

1.3.2) Pojednostavite logičku funkciju pomoću zakona Booleove algebre.

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

RJEŠENJE:

$$Y = BA + BC$$

1.3.3) a) Pretvorite logičku funkciju za implementaciju NAND sklopa.

Savjet: Koristite dvostruku negaciju i De Morganov teorem.

RJEŠENJE:

$$Y = \overline{\overline{BA} + \overline{BC}} = \overline{(\overline{BA}) * (\overline{BC})}$$

b) Nacrtajte shematski dijagram pojednostavljene logičke funkcije implementirane u potpunosti NAND sklopom i strujnog kruga pomoću softvera TinyCAD.

Izvršite simulaciju pojednostavljene logičke funkcije implementirane u potpunosti NAND sklopom i strujnom krugu pomoću softvera TinkerCad.

Koju vrstu i koliko čipova biste koristili za realizaciju logičke funkcije u obliku NAND sklopa?

Koji ste tip i koliko čipova upotrijebili za implementaciju logičke funkcije u izvornom obliku?

RJEŠENJE: 3 logička sklopa, 1 čip, 7400

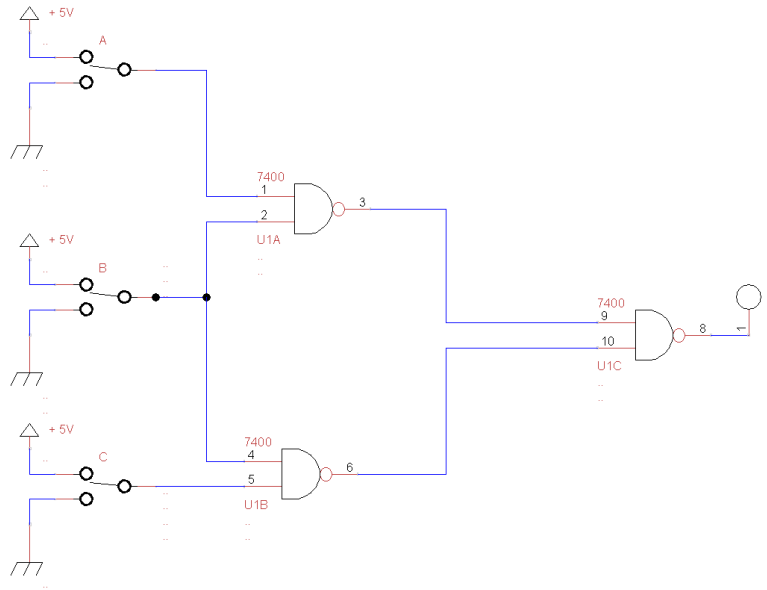


Figure 1.3.2: Shematski dijagram pojednostavljene logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

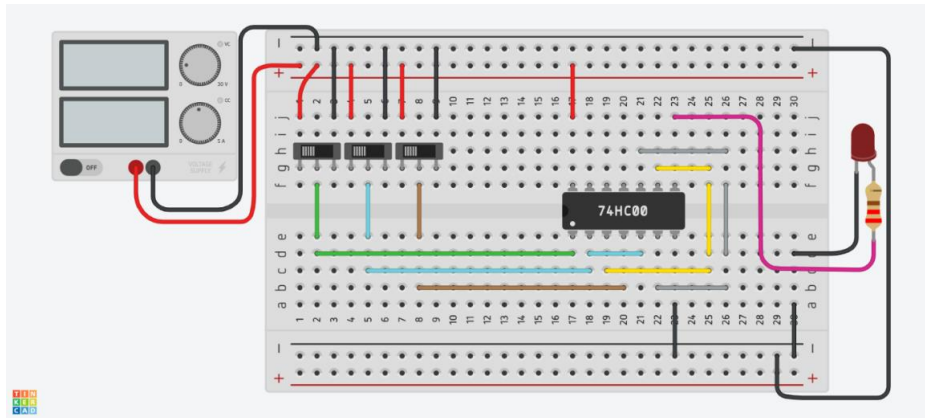


Figure 1.3.3: Shema strujnog kruga u simulatoru strujnog kruga Tinkercad.

1.4 Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom Veitch dijagrama

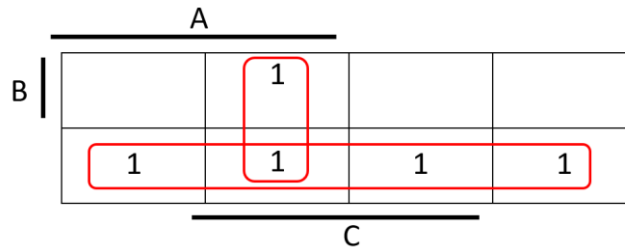
1.4.1) Dana je tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



1.4.2) Minimizirajte logičku funkciju pomoću Veitch dijagrama.

RJEŠENJE:



1.4.3) Zapišite puni disjunktivni oblik. Pojednostavite logičku funkciju pomoću zakona Booleove algebre.

RJEŠENJE:

$$Y = A C + \bar{B}$$

1.4.4) a) Pretvorite logičku funkciju za implementaciju NAND sklopa.

Savjet: Koristite dvostruku negaciju i De Morganov teorem.

RJEŠENJE:

$$Y = \overline{\overline{A C + \bar{B}}} = \overline{(\overline{A C}) * (\overline{\bar{B}})}$$

b) Nacrtajte shematski dijagram logičke funkcije u punom disjunktivnom obliku implementiranom u potpunom NAND obliku i strujnom krugu pomoću softvera TinyCAD. Izvršite simulaciju logičke funkcije u punom disjunktivnom obliku implementiranom u potpunom NAND obliku i strujnom krugu pomoću softvera TinkerCad.

RJEŠENJE:

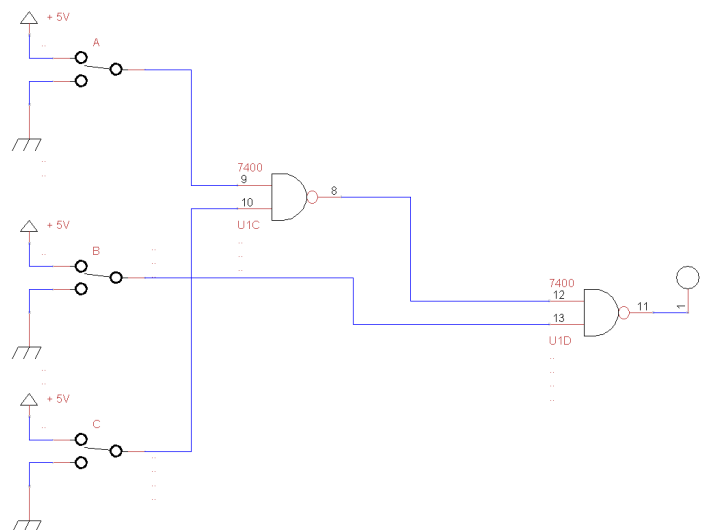


Figure 1.4.1: Shematski dijagram logičke funkcije u punom disjunktivnom obliku izveden u potpunom NAND obliku i strujni krug.

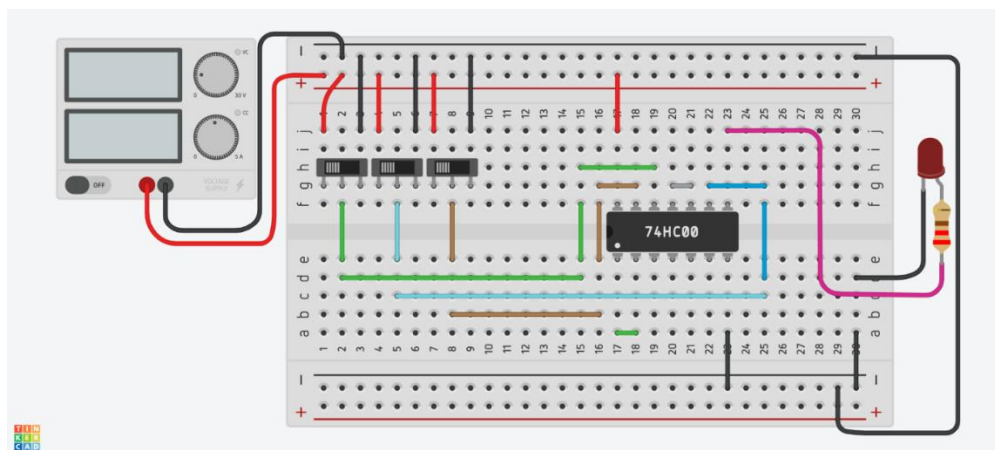


Figure 1.4.2: Shema strujnog kruga u simulatoru kruga Tinkercad.

2. Simulacija u edukacijskoj platformi CORELA (učenik 2)

Provedite simulaciju svih pet strujnih krugova pomoću edukacijske platforme CORELA.

Instalacija, struktura i upotreba platforme predstavljeni su u **korisničkom priručniku CORELA edukacijske platforme**.

2.1 Realizacija logičke funkcije

2.1.1) Uređaj bi trebao početi raditi kad se istovremeno aktiviraju senzor A i senzor B ili se senzor C deaktivira.

Logička funkcija određena je jednačbom i tablicom stanja u nastavku.

Jednačba:

$$Y = (A B) + \bar{C}$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1



Shematski dijagram logičke funkcije i strujnog kruga prikazan je na slici 2.1.1.

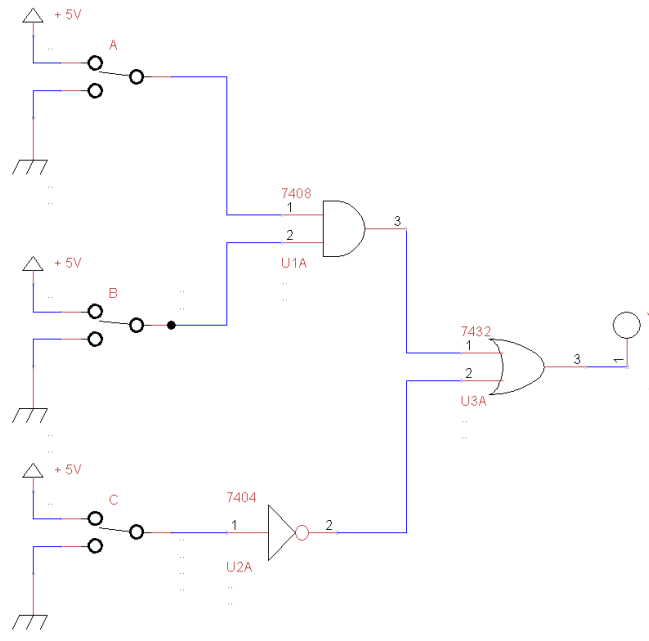


Figure 2.1.1: Shematski dijagram logičke funkcije i strujnog kruga.

2.1.2)) Izvršite simulaciju opisane logičke funkcije na platformi CORELA.

U sučelju platforme Corela izvedite sklop prema slici 2.1.1: (Shematski dijagram logičke funkcije i strujnog kruga.) Napominjemo da je potrebno testirati sve kombinacije iz logičke tablice (tablica stanja) iz točke 2.1.1, korak po korak i provjeriti rezultate. To znači napraviti simulacijske krugove za kombinacije ulaznih varijabli od 000, 001, 010 do 111.

Primjer kombinacije 110 prikazan je na slici 2.1.2.

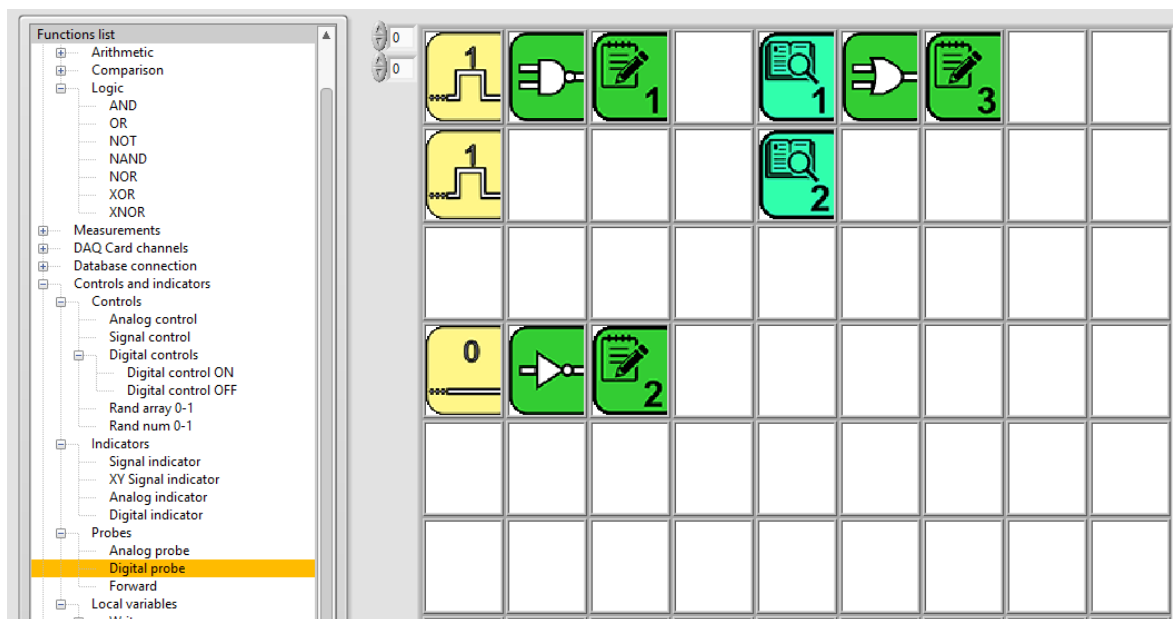


Figure 2.1.2: Izvedba logičke funkcije u Corela sučelju.



2.1.3) Logička funkcija u potpunom NAND obliku određena je jednađžbom i tablicom stanja u nastavku.

Jednađžba:

$$Y = \overline{\overline{AB} + \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * C}$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug prikazan je na slici 2.1.3.

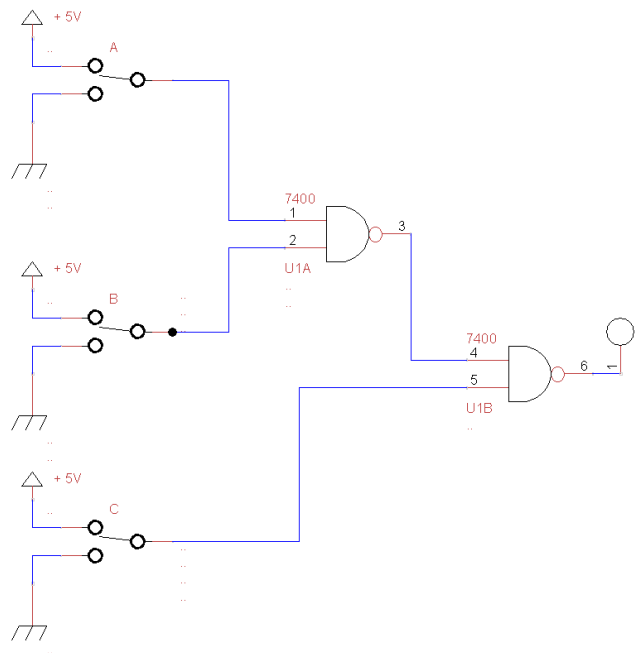


Figure 2.1.3: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

2.1.4) Provedite simulaciju logičke funkcije u potpunom NAND obliku na platformi CORELA.

U sučelju platforme Corela izvedite sklop prema slici 2.1.3: (Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.).

Napominjemo da je potrebno testirati sve kombinacije iz logičke tablice (tablica stanja) iz točke 2.1.3, korak po korak i provjeriti rezultate. To znači napraviti simulacijske krugove za kombinacije ulaznih varijabli od 000, 001, 010 do 111.

Primjer kombinacije 110 prikazan je na slici 2.1.4.

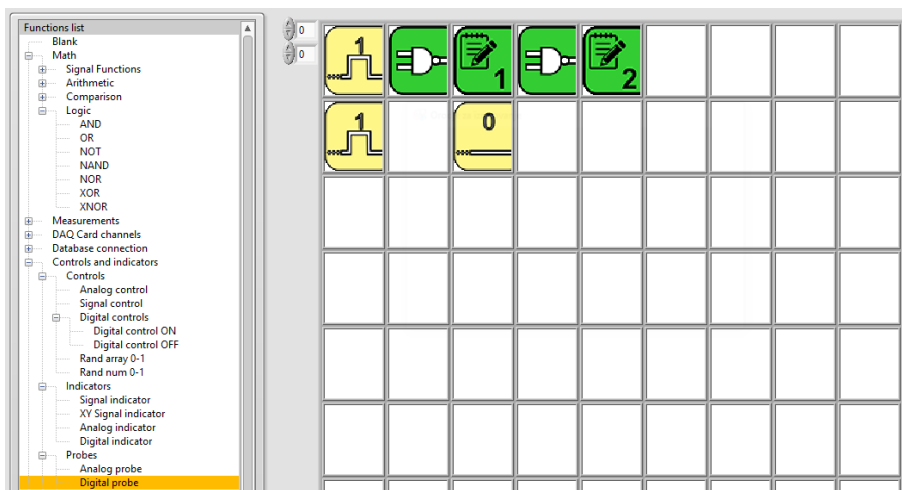


Figure 2.1.4: Izvedba logičke funkcije u korelacijskom sučelju Corela.

2.2 Realizacija logičke funkcije korištenjem NAND sklopa

2.2.1) Logička funkcija opisana je sljedećom jednadžbom i tablicom stanja:

Jednadžba:

$$Y = \bar{A} B + C$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

2.2.2) Logička funkcija u potpunom NAND obliku određena je jednadžbom u nastavku.

Jednadžba:

$$Y = \overline{\overline{\bar{A} B + C}} = \overline{\overline{\bar{A} B} * \overline{C}}$$

Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug prikazan je na slici 2.2.1.

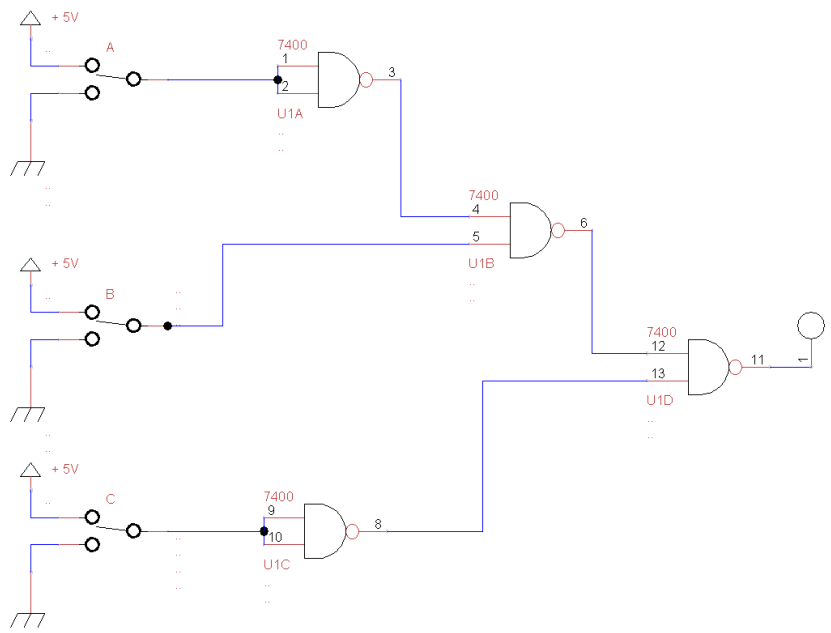


Figure 2.2.1: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

2.2.3) Provedite simulaciju logičke funkcije u potpunom NAND obliku na platformi CORELA..

U sučelju platforme Corela izvedite sklop prema slici 2.2.1: (Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.).

Imajte na umu da je potrebno testirati sve kombinacije iz logičke tablice (tablice stanja) od točke 2.2.1, korak po korak i provjeriti rezultate. To znači napraviti simulacijske krugove za kombinacije ulaznih varijabli od 000, 001, 010 do 111.

Primjer kombinacije 011 prikazan je na slici 2.2.2.

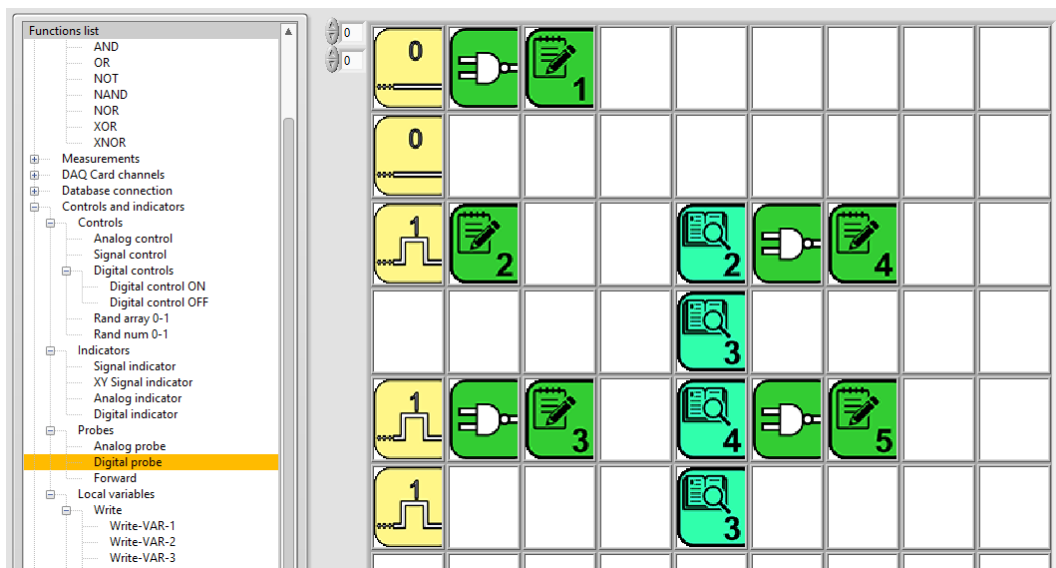


Figure 2.2.2: Izvedba logičke funkcije u Corela sučelju.



2.3 Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom zakona Booleove algebre

2.3.1) Shematski dijagram logičke funkcije prikazan je na slici 2.3.1.

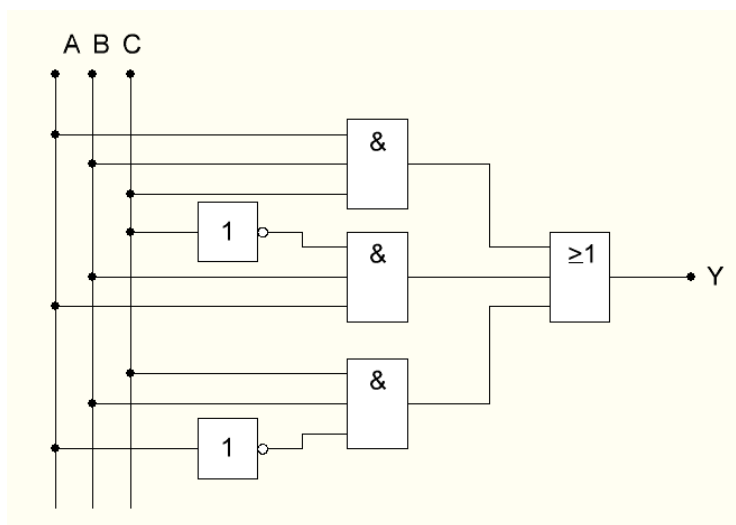


Figure 2.3.1: Shematski dijagram logičke funkcije.

Logička funkcija predstavljena shematskim dijagramom prikazanim na slici 2.3.1 opisana je sljedećom jednačbom i tablicom stanja:

Jednačba:

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

2.3.2) Pojednostavljena logička funkcija određena je sljedećom jednačbom.

$$\text{Jednačba: } Y = BA + BC$$

2.3.3) Pojednostavljena logička funkcija u potpunom NAND obliku određena je jednačbom u nastavku.

$$\text{Jednačba: } Y = \overline{\overline{B A} + \overline{B C}} = (\overline{B A}) * (\overline{B C})$$



Shematski dijagram pojednostavljene logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug prikazan je na slici 2.3.2.

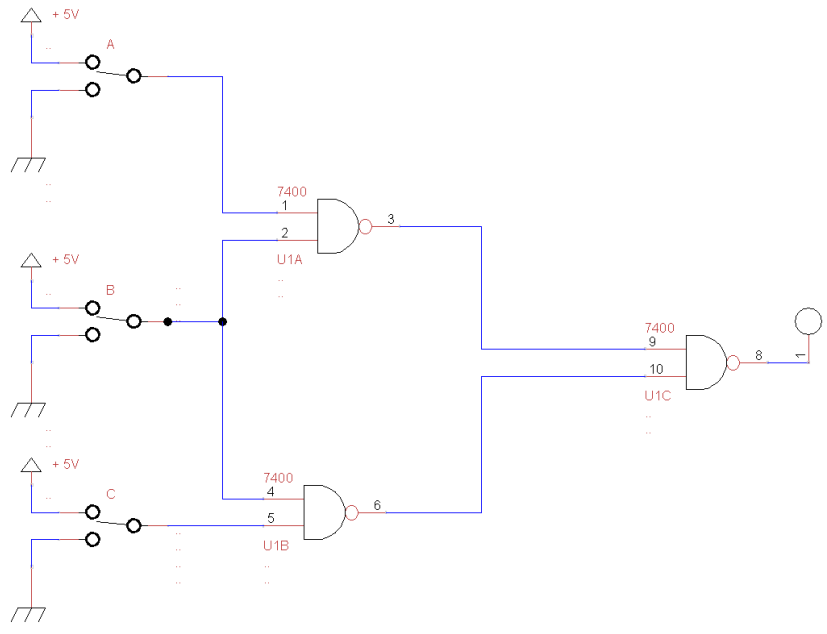


Figure 2.3.2: Shematski dijagram pojednostavljene logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

2.3.3) Provedite simulaciju logičke funkcije u potpunom NAND obliku na platformi CORELA.

U sučelju platforme Corela izvedite sklop prema slici 2.3.2: (Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.). Napominjemo da je potrebno korak po korak testirati sve kombinacije iz logičke tablice (tablica stanja) iz točke 2.3.1 i provjeriti rezultate. To znači napraviti simulacijske krugove za kombinacije ulaznih varijabli od 000, 001, 010 do 111.

Primjer kombinacije 101 prikazan je na slici 2.3.3.

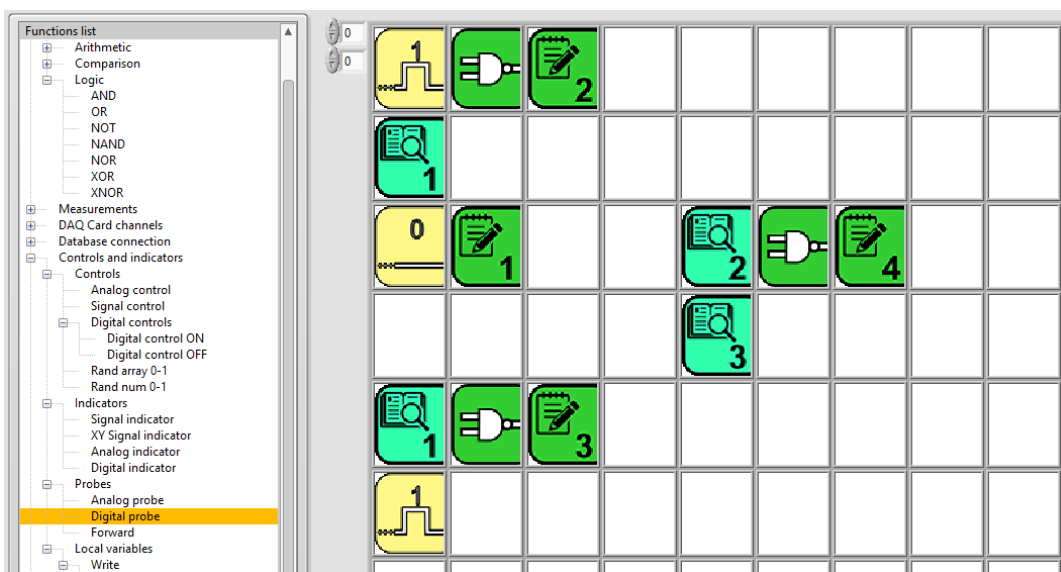


Figure 2.3.3: Izvedba logičke funkcije u Corela sučelju.



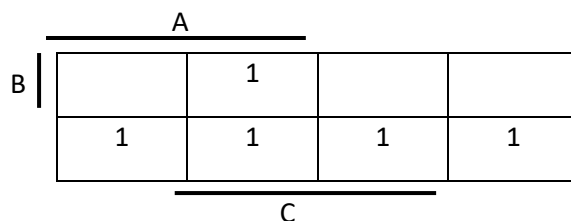
2.4 Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom Veitch dijagrama

2.4.1) Logička funkcija određena je sljedećom tablicom stanja:

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

2.4.2) Veitchov dijagram logičke funkcije:



2.4.3) Potpuni disjunktivni oblik logičke funkcije:

Jednadžba:

$$Y = A C + \bar{B}$$

2.4.4) Potpuni disjunktivni oblik logičke funkcije implementiran u obliku NAND sklopa određen je jednadžbom u nastavku.

$$Y = \overline{\overline{A C + \bar{B}}} = \overline{(\overline{A C}) * (\overline{\bar{B}})} = \overline{\overline{A C} * B}$$

Shematski dijagram logičke funkcije u punom disjunktivnom obliku implementiran u obliku NAND sklopa i strujni krug prikazan je na slici 2.4.1.

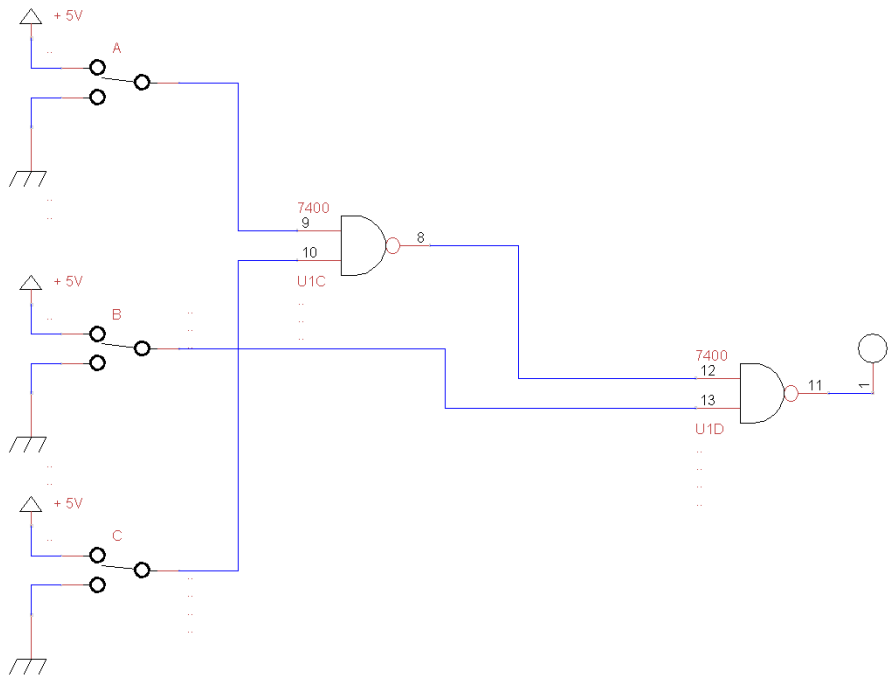


Figure 2.4.1: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom disjunktivnom obliku izveden u obliku NAND sklopa i strujnom krug.

2.4.5) Provedite simulaciju logičke funkcije u potpunom NAND obliku na platformi CORELA.

U sučelju platforme Corela izvedite sklop prema slici 2.4.1: (Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.)

Napominjemo da je potrebno testirati sve kombinacije iz logičke tablice (tablica stanja) iz točke 2.4.1, korak po korak i provjeriti rezultate. To znači napraviti simulacijske krugove za kombinacije ulaznih varijabli od 000, 001, 010 do 111.

Primjer kombinacije 101 prikazan je na slici 2.4.2.

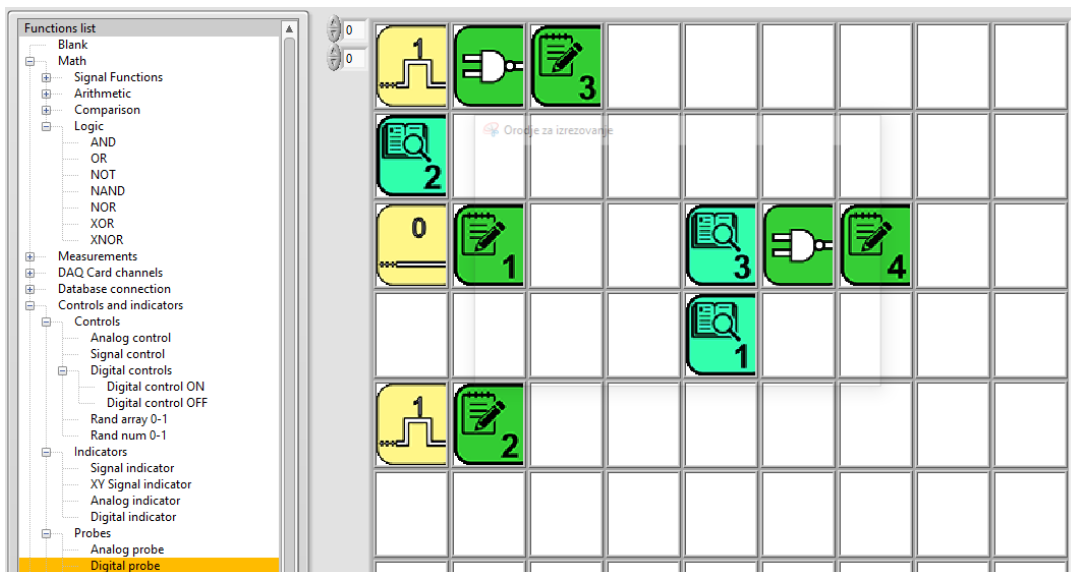


Figure 2.4.2: Izvedba logičke funkcije u Corela sučelju.



3 Laboratorijska vježba (učenik 3)

3.1 Realizacija logičke funkcije

3.1.1) Uređaj bi trebao početi raditi kad se istovremeno aktiviraju senzor A i senzor B ili se senzor C deaktivira.

Logička funkcija određena je jednadžbom i tablicom stanja u nastavku.

Jednadžba:

$$Y = (A B) + \bar{C}$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

The schematic diagram of the logic function and the electronic circuit is shown in Figure 3.1.1.

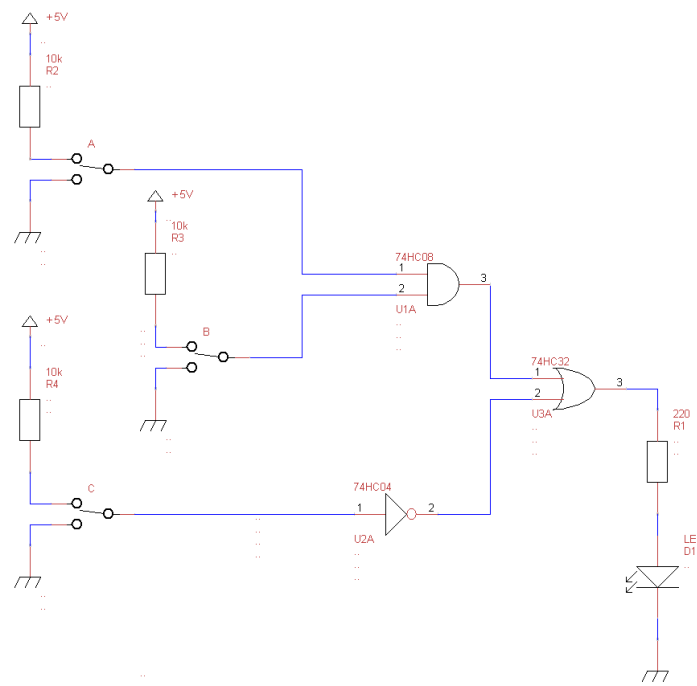


Figure 3.1.1: Shematski dijagram logičke funkcije i strujnog kruga.

CORELA

Izradi opisani logički sklop na eksperimentalnoj pločici; koristite odgovarajuće čipove i ostale električne elemente..

Elementi:

- eksperimentalna pločica,
- čipovi: IC 74HC08, 74HC04, 74HC32,
- 3 x troljni klizni prekidač,
- 3 x otpornik 10 k Ω ,
- otpornik 220 Ω ,
- LED (svjetleća dioda),
- vodiči,
- DC napajanje (5 V).

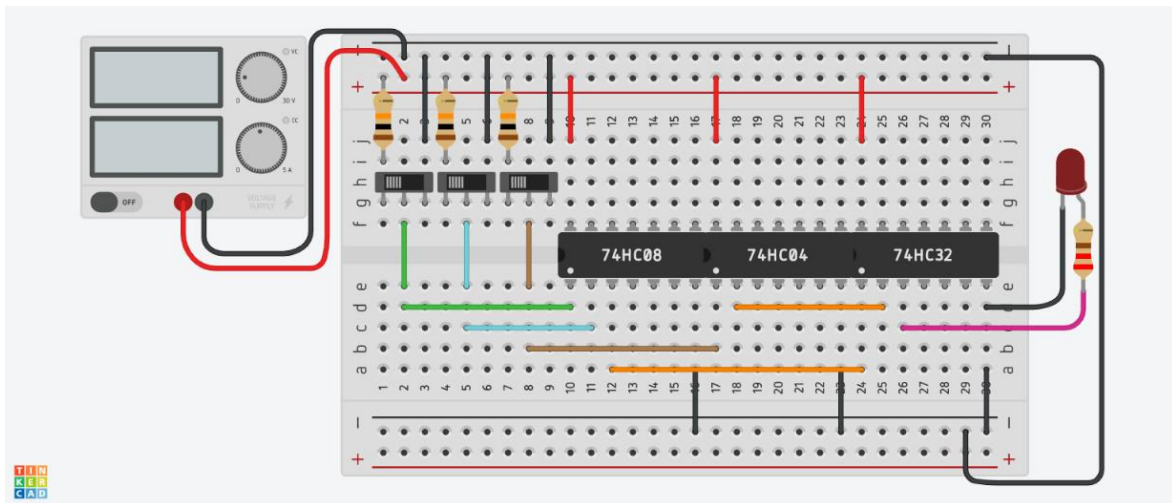


Figure 3.1.2: Shema strujnog kruga na eksperimentalnoj pločici

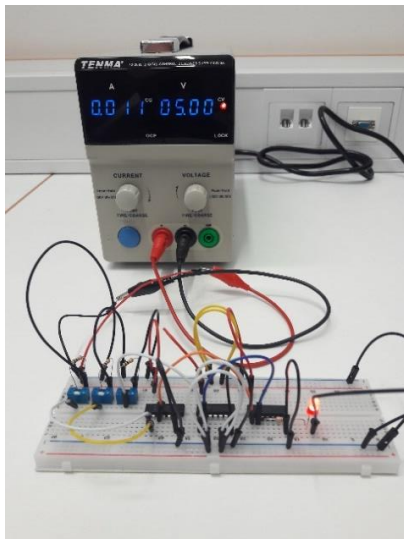


Figure 3.1.3: DC naponsko napajanje i eksperimentalna pločica.

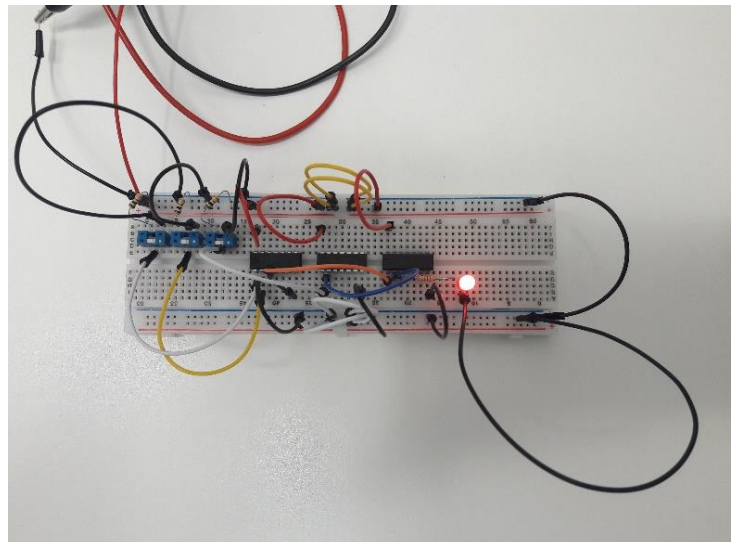


Figure 3.1.4: Realizirani logički sklop.

3.1.2) Logička funkcija opisana je jednadžbom:

$$Y = \bar{A} B + C$$

Logička funkcija u potpunom NAND obliku određena je jednadžbom i tablicom stanja u nastavku.

Jednadžba:

$$Y = \overline{\overline{\bar{A} B + C}} = \overline{\overline{\bar{A} B} * \overline{C}} = \overline{\bar{A} B * C}$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug prikazan je na slici 3.1.2.

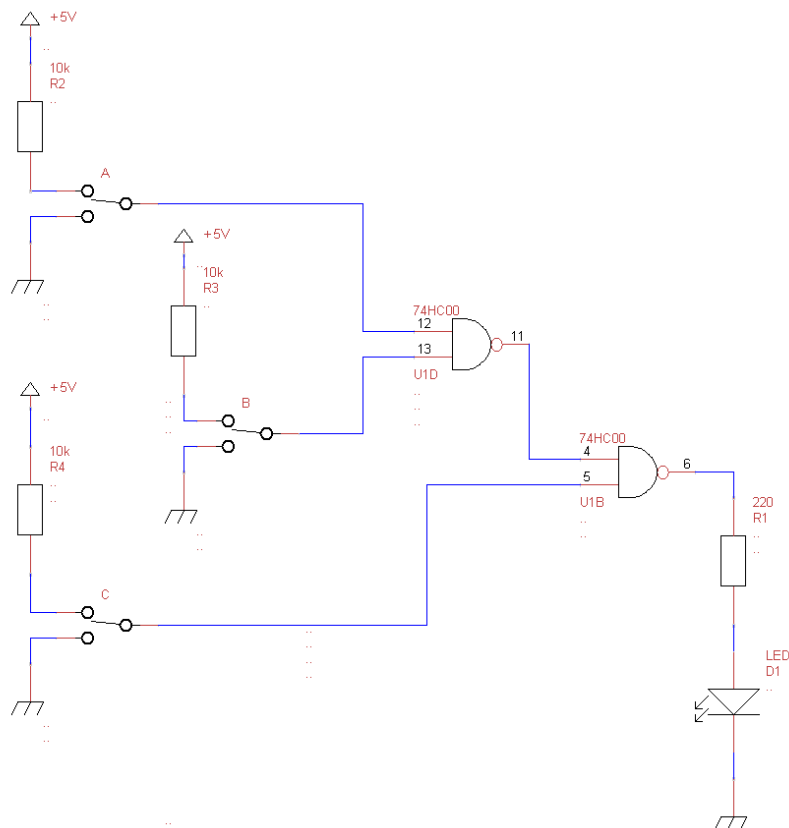


Figure 3.1.5: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.

CORELA

Izradite logički sklop u potpunom NAND obliku na eksperimentalnoj pločici; koristite odgovarajuće čipove i ostale električne elemente.

Elementi:

- eksperimentalna pločica,
- čip: IC 74HC00,
- 3 x troljni klizni prekidač,
- 3 x otpornik $10\text{ k}\Omega$,
- otpornik $220\ \Omega$,
- LED (svjetleća dioda),
- vodiči,
- DC napajanje (5 V).

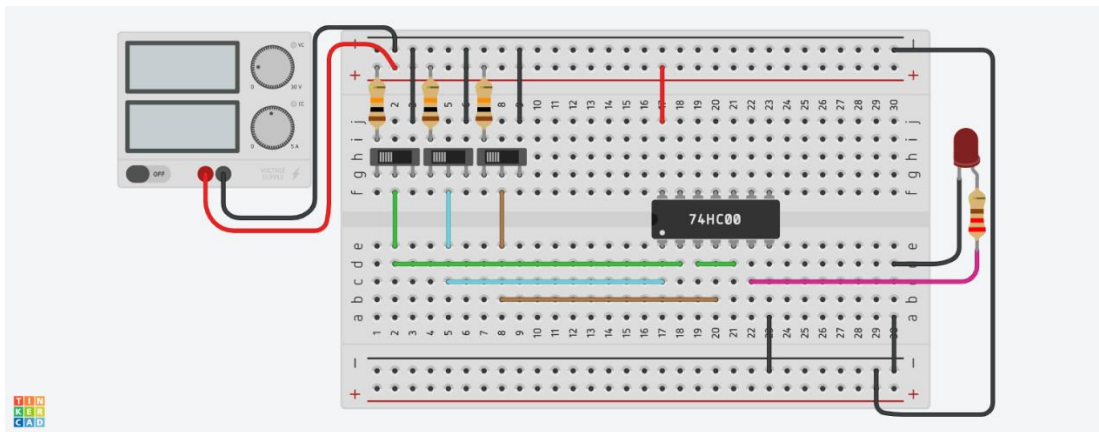


Figure 3.1.6: Shema strujnog kruga na eksperimentalnoj pločici.

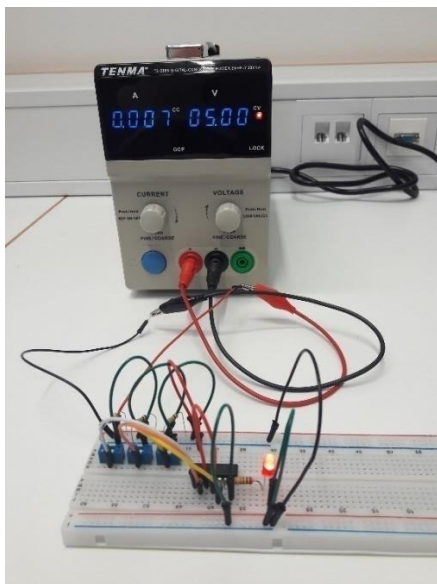


Figure 3.1.7: DC naponsko napajanje i eksperimentalna pločica.

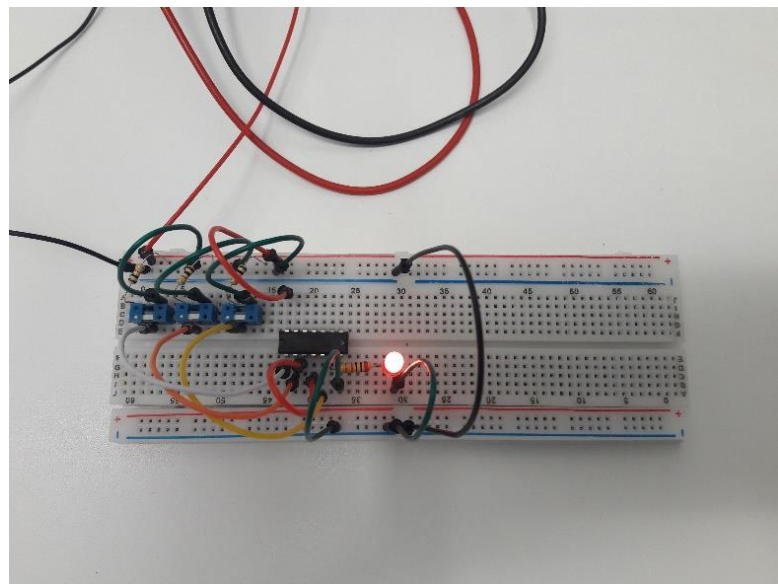


Figure 3.1.8: Realizacija sklopa na eksperimentalnoj pločici.

3.2 Realizacija logičke funkcije primjenom NAND sklopa

3.2.1) Logička funkcija opisana je sljedećom jednadžbom i tablicom stanja:

Jednadžba:

$$Y = \bar{A} B + C$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

3.2.2) Logička funkcija u potpunom NAND obliku određena je jednadžbom u nastavku.

Jednadžba:

$$Y = \overline{\overline{\bar{A} B + C}} = \overline{\overline{\bar{A} B} * \bar{C}}$$

Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug prikazan je na slici 3.2.1.

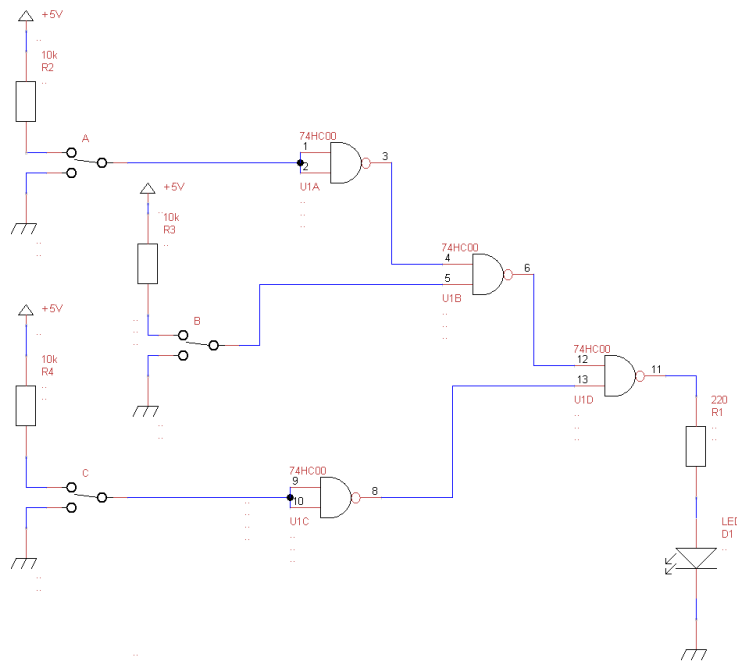


Figure 3.2.1: Shematski dijagram logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.



Izradite logički sklop u potpunom NAND obliku na eksperimentalnoj pločici; koristite odgovarajuće čipove i ostale električne elemente.

Elementi:

- eksperimentalna pločica,
- cip: IC 74HC00,
- 3 x troljni klizni prekidač,
- 3 x otpornik 10 k Ω ,
- otpornik 220 Ω ,
- LED (svjetleća dioda),
- vodiči,
- DC napajanje (5 V).

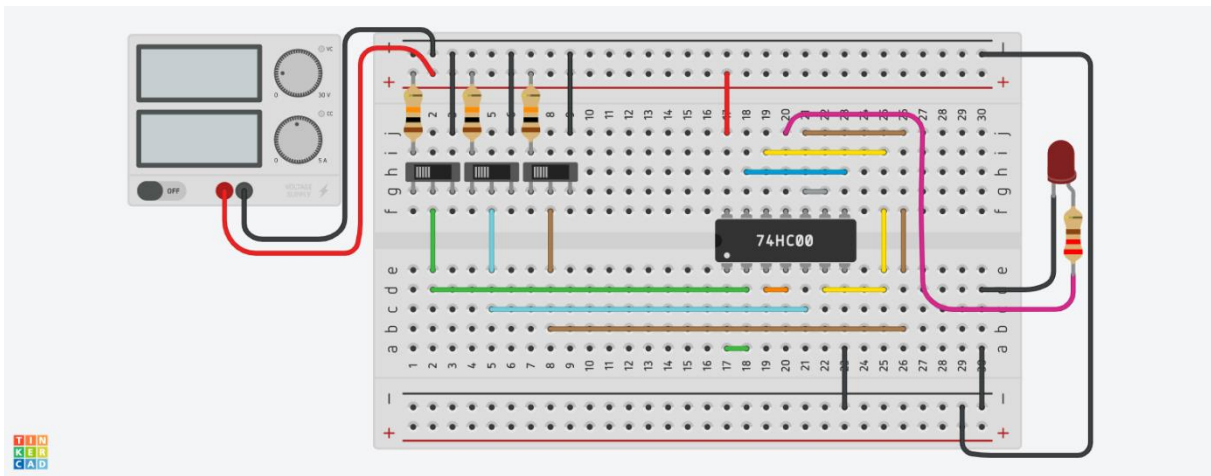


Figure 3.2.2: Shema električnog kruga na protoploči.

3.3 Pojednostavljenje logičke funkcije primjenom zakona Booleove algebre

3.3.1) Shematski dijagram logičke funkcije prikazan je na slici 3.3.1.

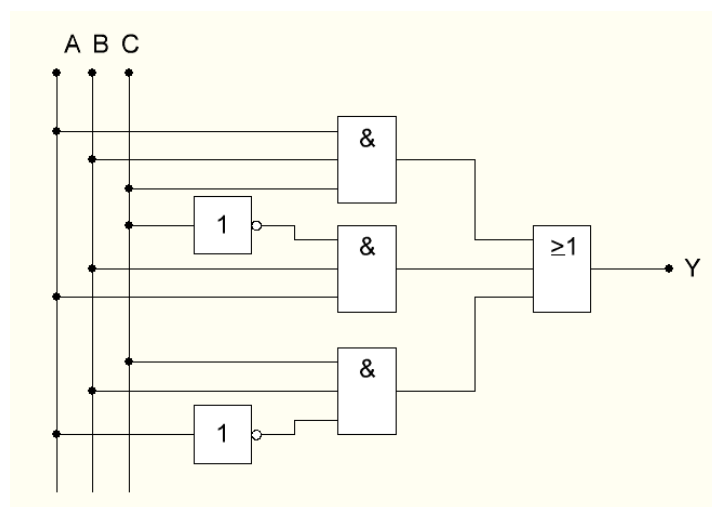


Figure 3.3.1: Shematski dijagram logičke funkcije.



Logička funkcija predstavljena shematskim dijagramom prikazanim na slici 3.3.1 opisana je sljedećom jednađbom i tablicom stanja:

Jednađba:

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

3.3.2) Pojednostavljena logička funkcija određena je sljedećom jednađbom.

Jednađba:

$$Y = B A + B C$$

3.3.3) Pojednostavljena logička funkcija u potpunom NAND obliku određena je jednađbom u nastavku.

$$\text{Jednađba: } Y = \overline{\overline{B A} + \overline{B C}} = (\overline{B A}) * (\overline{B C})$$

Shematski dijagram pojednostavljene logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug prikazan je na slici 3.3.2.

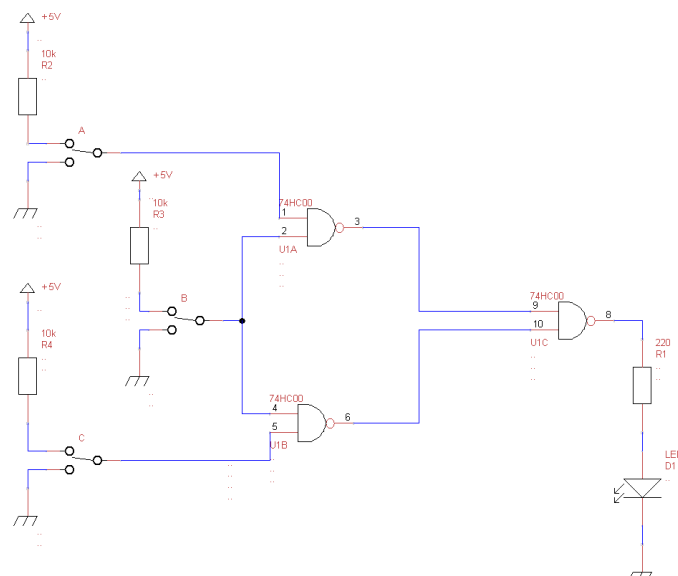


Figure 3.3.2: Shematski dijagram pojednostavljene logičke funkcije u potpunom NAND obliku i strujni krug.



CORELA

Izradi pojednostavljeni logički sklop na eksperimentalnoj pločici; koristite odgovarajuće čipove i ostale električne elemente.

Elementi:

- eksperimentalna pločica
- čip: IC 74HC00,
- 3 x trolpolni klizni prekidač,
- 3 x otpornik 10 kΩ,
- otpornik 220 Ω,
- LED (svjetleća dioda),
- vodiči,
- DC napajanje (5 V).

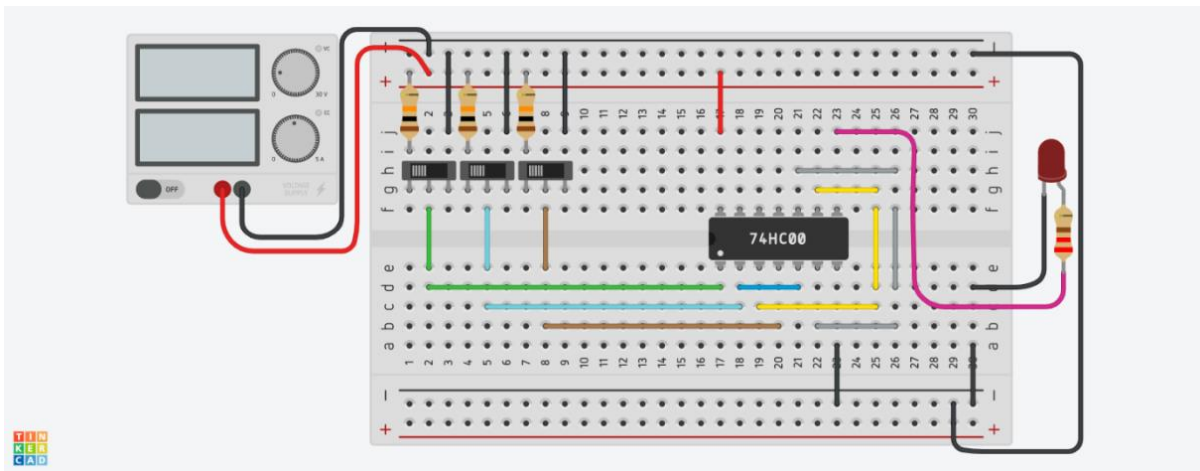


Figure 3.3.3: Shema sklopa na eksperimentalnoj pločici.

3.4 Pojednostavljenje logičke funkcijepomoću Veitch dijagrama

3.4.1) Logička funkcija određena je sljedećom tablicom stanja:

Tablica stanja:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



3.4.2) Veitchov dijagram logičke funkcije:

	A			
B		1		
	1	1	1	1
			C	

3.4.3) Potpuni disjunktivni normalni oblik logičke funkcije:

Jednadžba:

$$Y = A C + \bar{B}$$

3.4.4) Potpuni disjunktivni oblik logičke funkcije implementiran u potpunosti NAND sklopom određen je jednadžbom dolje.

$$Y = \overline{\overline{A C + \bar{B}}} = \overline{\overline{A C} * \overline{\bar{B}}} = \overline{\overline{A C} * B}$$

Shematski dijagram logičke funkcije prikazan je na slici 3.4.

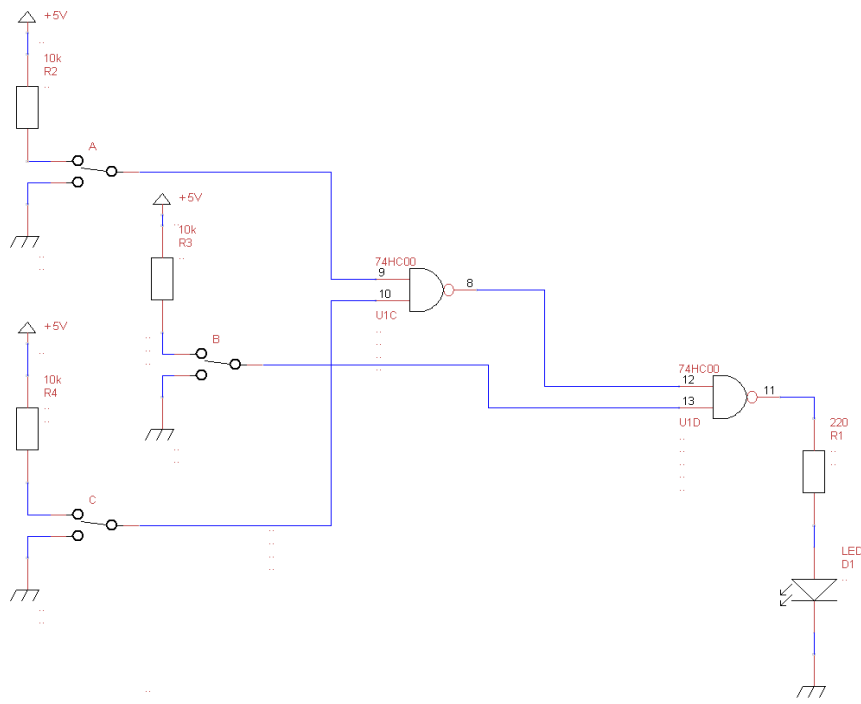


Figure 3.4.1: Shematski dijagram logičke funkcije u punom disjunktivnom normalnom obliku izveden u potpunom NAND obliku vrata i strujnom krugu.

Izradite logički sklop u potpunom NAND obliku na eksperimentalnoj pločici; koristite odgovarajuće čipove i ostale električne elemente.

Elementi:

- eksperimentalna pločica,
- čip: IC 74HC00,



CORELA

- 3 x tropolni klizni prekidač,
- 3 x otpornik 10 k Ω ,
- otpornik 220 Ω ,
- LED (svjetleća dioda),
- vodiči,
- DC napajanje (5 V).

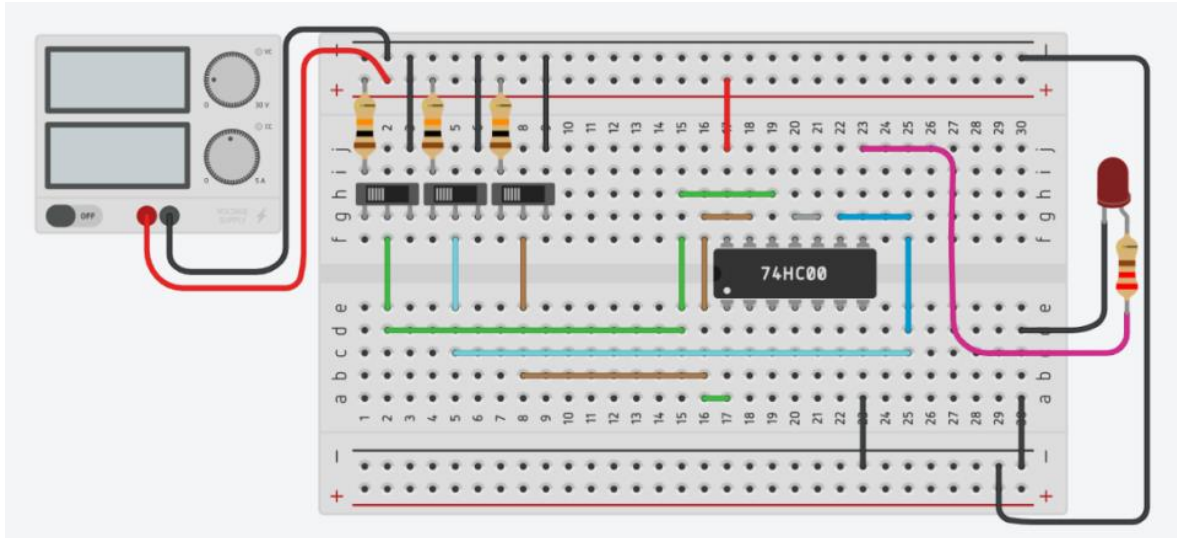


Figure 3.4.2: Shema sklopa na eksperimentalnoj pločici.

Video materijal:

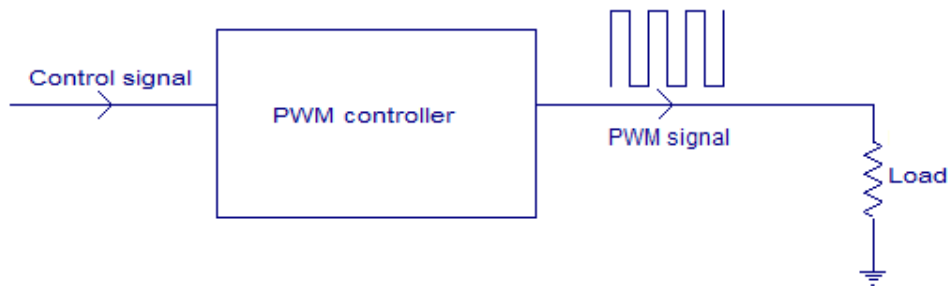
https://youtu.be/V51SY7u6_6s



VI PWM kontrola DC motora

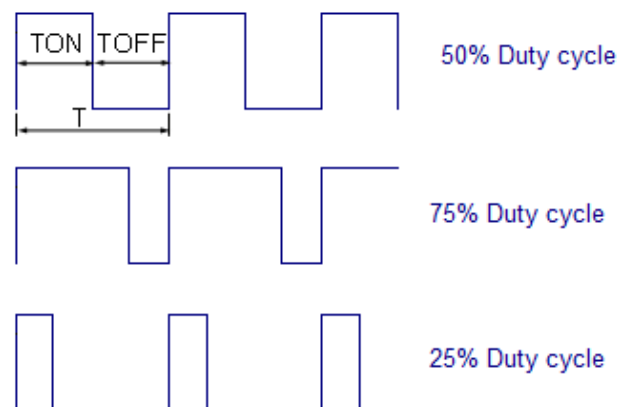
1. Uvod

PWM (Pulsno širinska modulacija) je vrlo česta metoda kontrole isporuke električne energije trošilima. Ova metoda je vrlo jednostavna za implementaciju i ima visok stupanj iskoristivosti. PWM signal je u osnovi pravokutni oblik visoke frekvencije (tipično 1 kHz i više). Faktor vođenja (eng. Duty Cycle – D u nastavku teksta) pravokutnog oblika se mijenja i na taj način se mijenja i količina električne energije isporučene trošilu. Faktor vođenja se uobičajeno izražava u postocima putem formule: $D[\%] = (TON / (TON + TOFF)) * 100$, gdje je TON vrijeme za kojeg je pravokutni oblik u stanju „visoko“, a $TOFF$ je vrijeme za kojeg je pravokutni oblik napona u stanju „nisko“. Kada se faktor vođenja poveća energija isporučena trošilu se povećava, a kada se faktor vođenja smanjuje i isporučena energija je manja. Blok dijagram tipičnog PWM kontrolnog uređaja je prikazan slijedećom shemom (Slika 1.1).



Slika 1.1

Ulazna veličina u PWM kontrolni uređaj je kontrolni signal. Može biti analogni ili digitalni u skladu s dizajnom samog uređaja. Kontrolni signal sadrži informacije o količini električne energije koju treba isporučiti trošilu. PWM kontrolni uređaj na osnovu kontrolnog signala podešava radni ciklus PWM signala. PWM valni oblici s različitim faktorima vođenja su prikazani Slikom 1.2.



Slika 1.2

Prema gornjim valnim oblicima možemo vidjeti da je frekvencija ista dok se mijenja vrijeme visoke naponske razine (TON) i niske naponske razine ($TOFF$).



2. Izračun parametara PWM signala (učenic 1)

Zadatak je odrediti vremena TON i TOFF kao i ukupno vrijeme TON + TOFF = T gdje je T period pravokutnog valnog oblika frekvencije 1000 Hz. Specificirana vremena trebaju biti određena za D₂₅[%]=25% i D₇₅[%]=75% od ukupnog perioda pravokutnog oblika.

Zadatak je izračunati vrijednosti analognog naponskog kontrolnog signala (U_D) na osnovu kojeg PWM kontrolni uređaj konstruira PWM signal, ako je naponsko područje analognog kontrolnog signala 0-5V, gdje napon od 5V označava D[%]=100. Također 0-5V napona se nakon analogno digitalne konverzije (10 bit) pretvara u brojni interval 0-1023.

Napomena: Zbog različitih vrsta DC motora ne možemo postaviti generalnu formulu ovisnosti njihove brzine o iznosu faktora vođenja, ali možemo reći da veći faktor vođenja znači i veću brzinu kretanja motora.

Napomena: CORELA platforma upravlja ARDUINO modulom i <PWM> funkcija upravlja PWM izlazima modula. Ovoj funkciji prosljeđujemo iznos faktora vođenja a sama funkcija odrađuje ostatak posla u cilju dobivanja pravilnog PWM valnog oblika kontrolnog signala.

Zadatak je nacrtati valne oblike PWM signala za oba tražena slučaja s naznačenim vremenima TON i TOFF (μs).

Za željeni PWM signal frekvencije 1kHz, formula za određivanje perioda (T) je:

$$T = \frac{1}{f} \cdot 10^6 [\mu s]$$

Vremena TON i TOFF se računaju prema formulama:

$$TON = \frac{D[\%]}{100} \cdot T [\mu s]$$

$$TOFF = T - TON [\mu s]$$

Ulazni napon kontrolnog signala se računa prema formuli:

$$U_D = 5V \cdot \frac{D[\%]}{100} = [V]$$

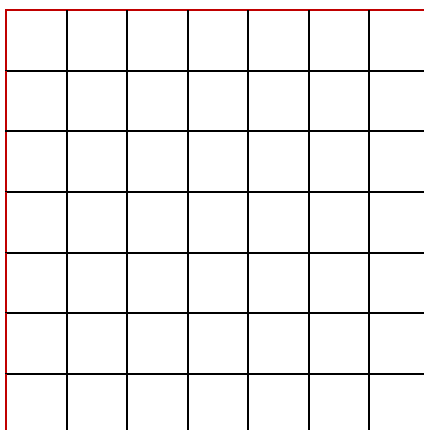
Popunite tablicu 1 s izračunatim podacima.

Table 1: Parametri PWM signala

D [%]	T [μs]	TON [μs]	TOFF [μs]	U _D [V]
25				
75				

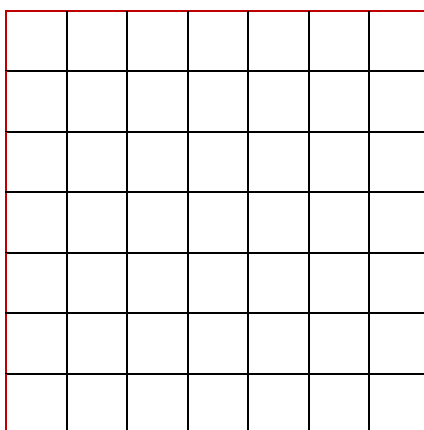


Za faktor vođenja 25% nacrtati valni oblik PWM signala s naznačenim vremenima u *Rešetci 1*.



Rešetka 1

Za faktor vođenja 75% nacrtati valni oblik PWM signala s naznačenim vremenima u *Rešetci 2*.



Rešetka 2

Pitanje 1: Kako predana električna energija trošilu ovisi o faktoru vođenja PWM signala?

Pitanje 2: Koju vrijednost PWM signala mjeri voltmetar u DC režimu rada?

2.1 Usporedba rezultata

Prijavite se na CORELA platformu za upis i slanje podataka. Vrijednosti perioda, vremena vođenja i nevođenja, te srednje vrijednosti kontrolnog napona unijeti i poslati na edukacijsku platformu u skladu s procedurom objašnjenom u sekciji 5 ovog priručnika.

Usporedi dobivene vrijednosti s onima dobivenim od učenika 2 i 3.



3. Simulacija parametara PWM signala (učenik 2)

Sintaksa korištena u ostatku priručnika:

<XXX> ime raspoložive izvršne funkcije u CORELA platformi, ili tipka

<XXX> ime izvršne funkcije u CORELA platformi kada je postavljena na radnu plohu

[XXX.YY] hijerarhijska putanja do raspoloživih izvršnih funkcija u CORELA platformi

U ovom dijelu vježbe izvesti ćemo simulaciju idealnog elektroničkog kruga.

Cilj simulacije je provjera teoretskih izračuna iz poglavlja 2. Simulacija je realizirana pomoću CORELA virtualne platforme.

Na početku USB vezom s računalom spajamo, unaprijed pripremljenu (ASRL4::INSTR), ARDUINO UNO elektroničku pločicu.

Pokrenite aplikaciju i pritisnite tipku <Continual mode>.

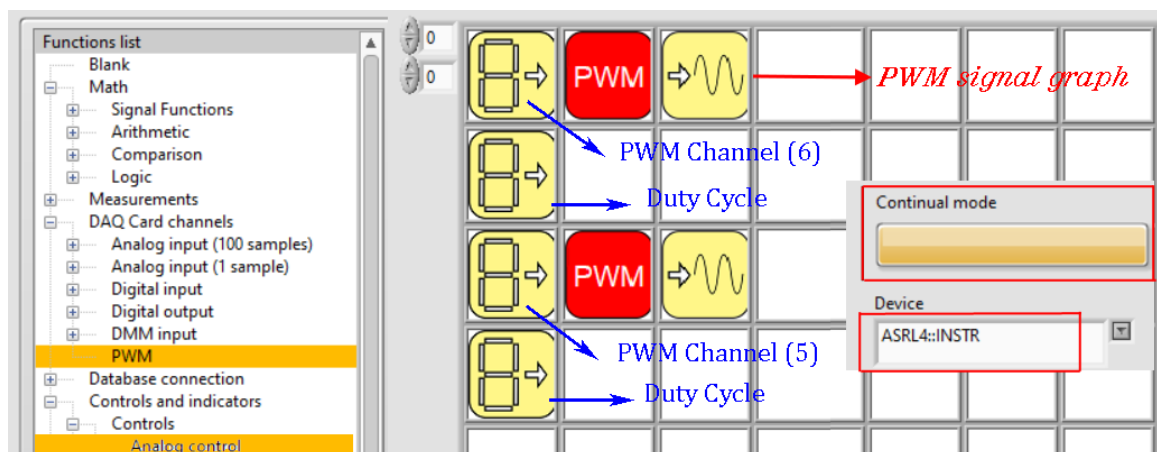
Nakon toga na radnu plohu umetnite <Analog control> kontrolu izabranu iz menia [Functions list->Controls and indicators->Controls]. Zapamtite broječanu vrijednost 6 za PWM kanal same kontrole (jedan od PWM kanala na ARDUINO UNO pločici).

Umetnite ponovo <Analog control> kontrolu, ispod prethodne, i zapamtite broječanu vrijednost 0,25 za FAKTOR VOĐENJA (D).

Umetnite <PWM> funkciju iz menia [Functions list->DAQ card channels] na mjesto prema slici. Ova kontrola treba dva ulazna podatka, prethodno zapamćena u dvjema <Analog control>.

Desno od <PWM> funkcije umetnite <Signal indicator> indikator iz menia [Functions list->Controls and indicators->Indicators]

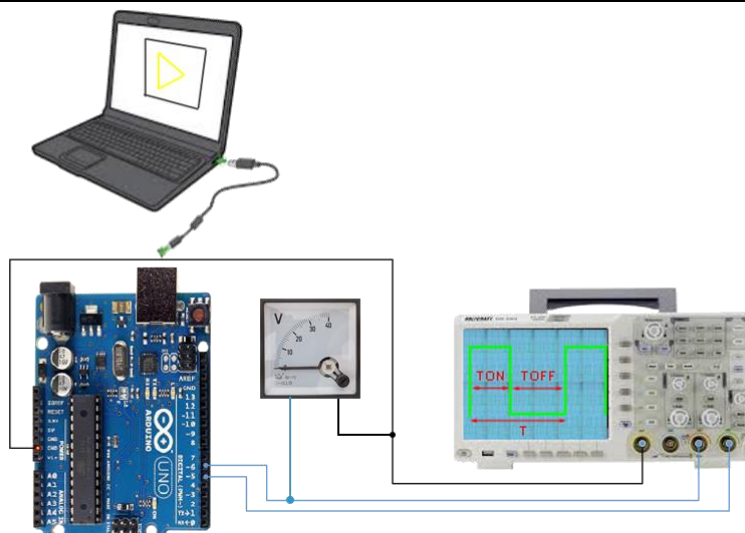
Ponovite cjelokupni postupak prema slici i promijenite jedino vrijednost <Analog control> za PWM kanal u broj 5. Izgled u aplikaciji je prikazan Slikom 3.1.



Slika 3.1

Spojite osciloskop na izabrane PWM kanale (5 i 6) na UNO pločici. Spojite voltmetar prema shemi spoja.

Na Slici 3.2 je prikazana shema spoja za izvođenje simulacije.

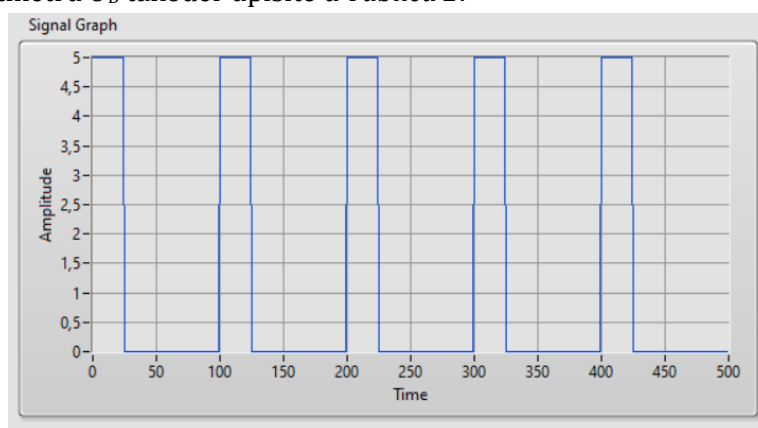


Slika 3.2

Korak 1)

Usporedite valni oblik *Grafa 1* s nacrtanim oblikom u *Rešetci 1* poglavlja 2. Prema valnom obliku na ekranu osciloskopa odredite vremena T , TON i $TOFF$, te ih unesite u *Tablicu 2*.

Očitanje napona na voltmetru U_D također upišite u *Tablicu 2*.



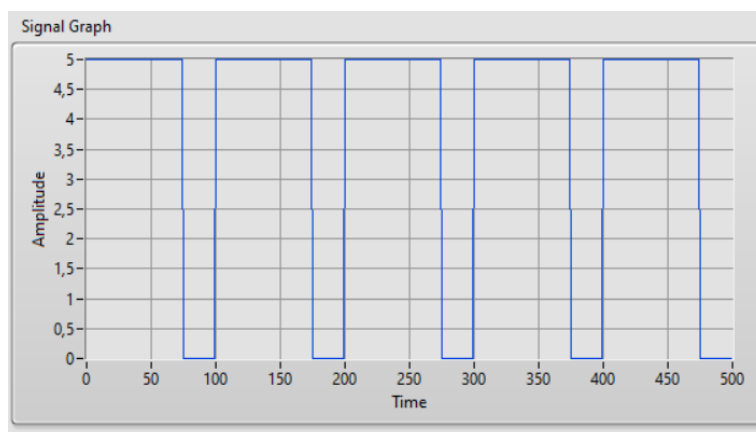
Graf 1

Korak 2)

Promijenite vrijednost za obje analogne kontrole za FAKTOR VOĐENJA na 0,75.

Usporedite valni oblik *grafa 2* s nacrtanim oblikom u *rešetci 2* poglavlja 2. Prema valnom obliku na ekranu osciloskopa odredite vremena T , TON i $TOFF$, te ih upišite u *tablicu 2*.

Očitanje napona na voltmetru U_D također upišite u *tablicu 2*.



Graf 2

Tablica 2: Parametri PWM signala

D [%]	T [μs]	TON [μs]	$TOFF$ [μs]	U_D [V]
25				
75				

Pitanje 1: Zašto vremena T , TON i $TOFF$ moramo odrediti iz prikaza na osciloskopu, a ne iz grafa izlaza PWM funkcije?

Pitanje 2: Zašto motoru u radu ne smeta pravokutni oblik PWM naponskog signala umjesto istosmjernog napona stalne razine?

3.1 Usporedba rezultata

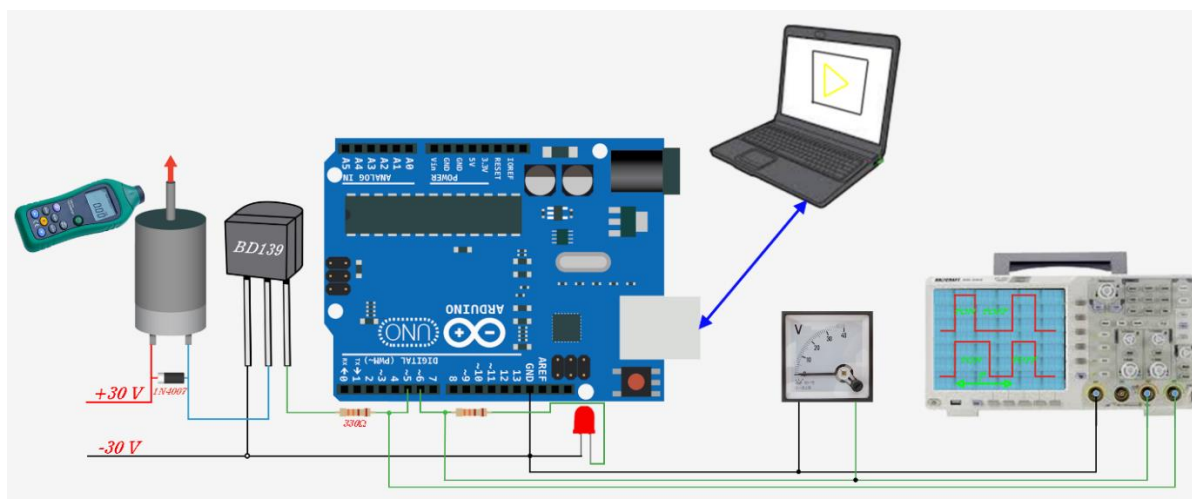
Prijaviti se na CORELA platformu za upis i slanje podataka. Vrijednosti perioda, vremena vođenja i nevođenja, te srednje vrijednosti kontrolnog napona unijeti i poslati na edukacijsku platformu u skladu s procedurom objašnjenom u sekciji 5 ovog priručnika.

Usporediti dobivene vrijednosti s onima dobivenim od učenika 1 i 3.



4. Praktična realizacija i mjerenje (student 3)

Ovo poglavlje vježbe je vezano na praktičnu realizaciju i stvarno mjerenje. Cilj je testiranje PWM kontrole u stvarnim uvjetima i na stvarnom sklopovlju. Za izvođenje vježbe koristimo ARDUINO platformu i opremu prikazanu *Slikom 4.1*.



Slika 4.1

Slijedi popis opreme za izvođenje vježbe:

1. Univerzalna pločica za spajanje
2. Istosmjerni izvor napajanja (0 - 30 V)
3. Arduino UNO / NANO elektronička pločica s Corela platformom
4. Električni otpornik 330 Ω x2
5. Tranzistor BD139 / 2N2222 ($I_{cmax}=1,5A / 800 \text{ mA}$)
6. Dioda 1N4007
7. DC motor 30V / max. 200 mA / nominalne brzine 1000 o/min.
8. LED crvena
9. Istosmjerni voltmetar
10. Osciloskop
11. Elektronički brojač okretaja
12. Računalo s Corela programom

Napomena: *Frekvencija PWM signala je 1000 Hz. LED indikator je dodan zbog vizualne kontrole postupka PWM modulacije.*



Korak 1)

Na početku USB vezom s računalom spajamo, unaprijed pripremljenu ([ASRL4::INSTR](#)), ARDUINO UNO elektroničku pločicu.

Pokrenite aplikaciju i pritisnite tipku *<Continual mode>*.

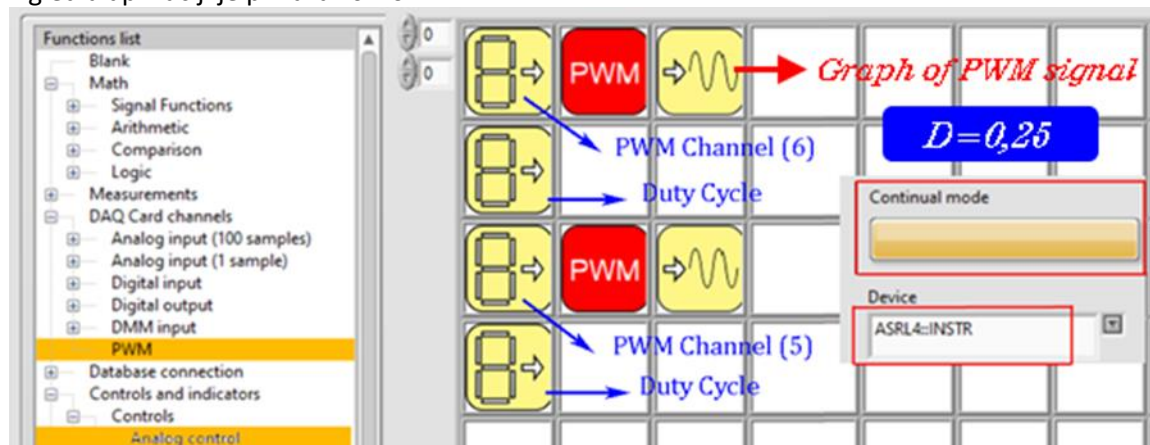
Nakon toga na radnu plohu umetnite *<Analog control>* kontrolu izabranu iz menia [Functions list->Controls and indicators->Controls]. Zapamtite broječanu vrijednost 6 za PWM kanal same kontrole (jedan od PWM kanala na ARDUINO UNO pločici).

Umetnite ponovo *<Analog control>* kontrolu, ispod prethodne, i zapamtite broječanu vrijednost 0,25 za FAKTOR VOĐENJA (D).

Umetnite *<PWM>* funkciju iz menia [Functions list->DAQ card channels] na mjesto prema slici. Ova funkcija treba dva ulazna podatka, prethodno zapamćena u dvjema *<Analog control>*.

Desno od *<PWM>* funkcije umetnite *<Signal indicator>* indikator iz menia [Functions list->Controls and indicators->Indicators]

Ponovite cjelokupni postupak prema slici i promijenite jedino vrijednost *<Analog control>* za PWM kanal u broj 5. Izgled u aplikaciji je prikazan *slikom 4.2*.



Slika 4.2

Na elektroničkom brojaču očitajte brzinu vrtnje i upišite je u *tablicu 3*.

Očitavanje napona na voltmetru također upišite u *tablicu 3*.

Prema valnom obliku na ekranu osciloskopa odredite vremena *T*, *TON* i *TOFF* i upišite ih u *tablicu 3*.



U programu Corela promijenite jedino vrijednost obje analogne kontrole za faktor vođenja u broj 0,75.

Na elektroničkom brojaču očitajte brzinu vrtnje i upišite je u *Tablicu 3*.

Očitavanje napona na voltmetru također upišite u *Tablicu 3*.

Prema valnom obliku na ekranu osciloskopa odredite vremena T , TON i $TOFF$ i upišite ih u *tablicu 3*.

Table 3: PWM kontrola motora

D [%]	T [μs]	TON [μs]	$TOFF$ [μs]	U_D [V]	v_D [o/min]
25					
75					

Pitanje 1: Je li promjena brzine vrtnje proporcionalna u odnosu na promijenjene vrijednosti faktora vođenja?

Pitanje 2: Napiši formule za određivanje brzine vrtnje jednog DC motora s serijskom i jednog DC motora s paralelnom uzbudom i poveži ih s odgovorom iz pitanja 1.

4.1 Usporedba rezultata

Prijaviti se na CORELA platformu za upis i slanje podataka. Vrijednosti perioda, vremena vođenja i nevođenja, te srednje vrijednosti kontrolnog napona unijeti i poslati na edukacijsku platformu u skladu s procedurom objašnjenom u sekciji 5 ovog priručnika.

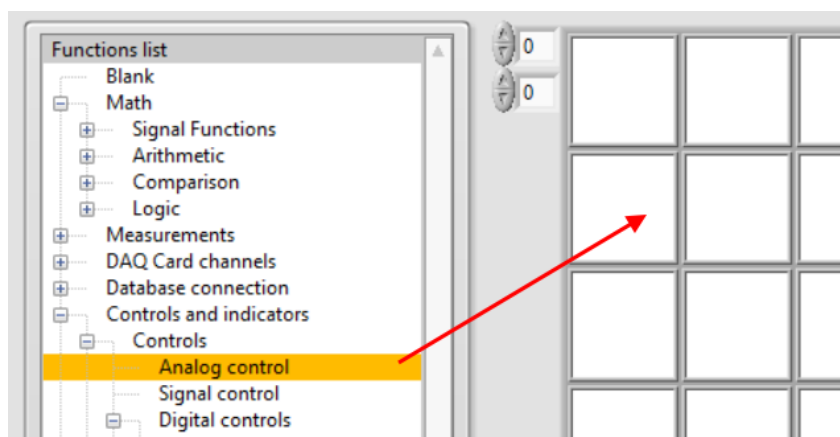
Usporedi dobivene vrijednosti s onima dobivenim od učenika 1 i 2.



5. Procedura za upis podataka i slanje na edukacijsku platformu

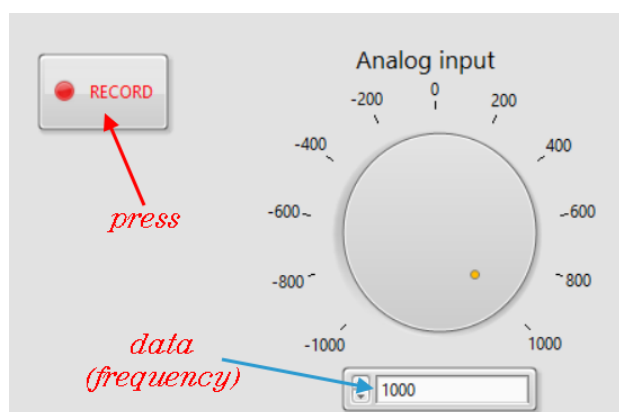
Korak 1: Upis i spremanje podataka

Iz menia [Functions list->Controls and indicators->Controls] izabrati <Analog control> kontrolu i lijevim klikom miša postaviti je na praznom polju radne plohe.



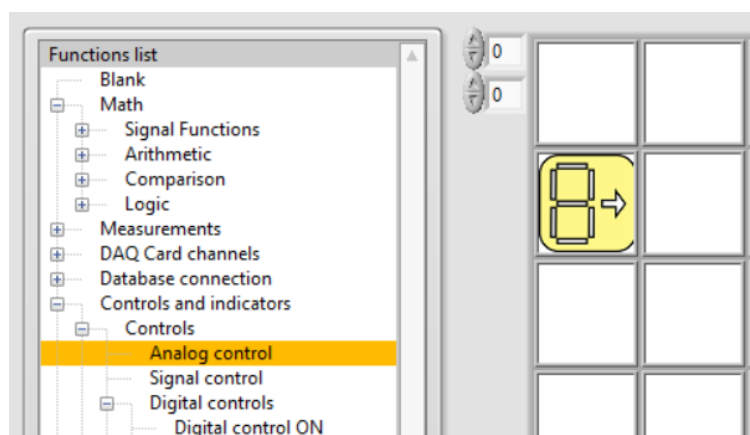
Slika 5.1: Postavljanje <Analog control> kontrole

Otvora se skočni prozor gdje unosimo vrijednost frekvencije PWM signala (slika 5.2).



Slika 5.2 Unos podataka

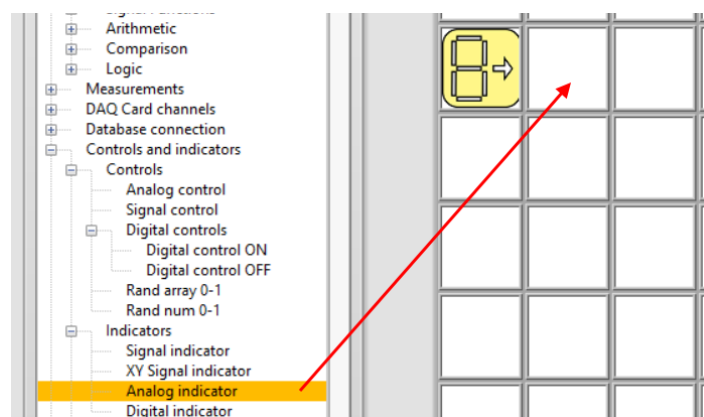
Pamtimo frekvenciju pritiskom na tipku <Record> (Slika 5.2).



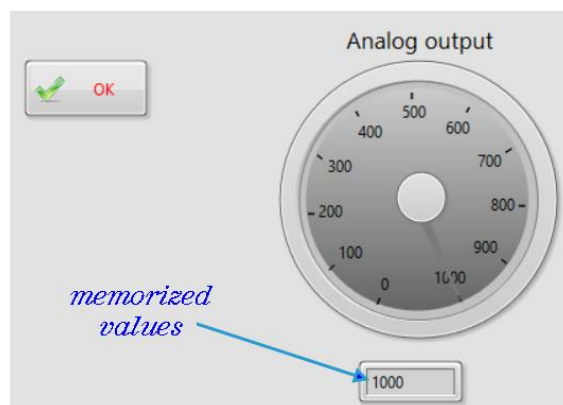
Slika 5.3: Izgled ekrana nakon spremanja podatka

Korak 2: Pregled spremljenih podataka

Postavljanjem <Analog indikator> indikatora u polje desno od već postavljene <Analog control> kontrole (slika 5.4) podatak unesen u Corela platformu je na raspolaganju.

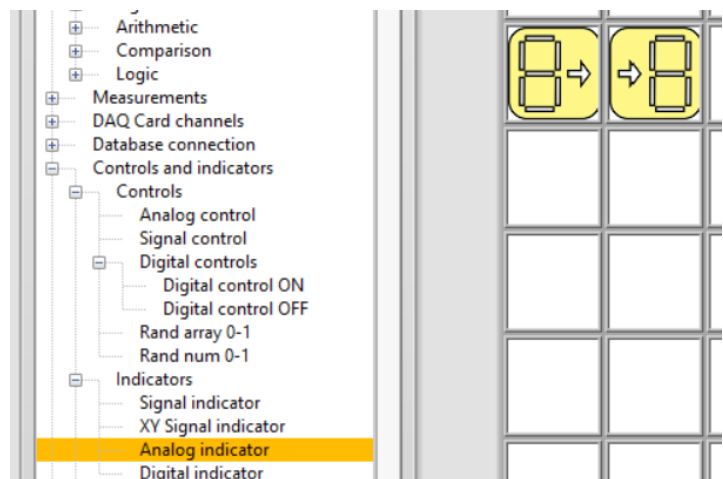


Slika 5.4: Postavljanje <Analog indikator> indikatora



Slika 5.5: Prikaz unesene vrijednosti frekvencije

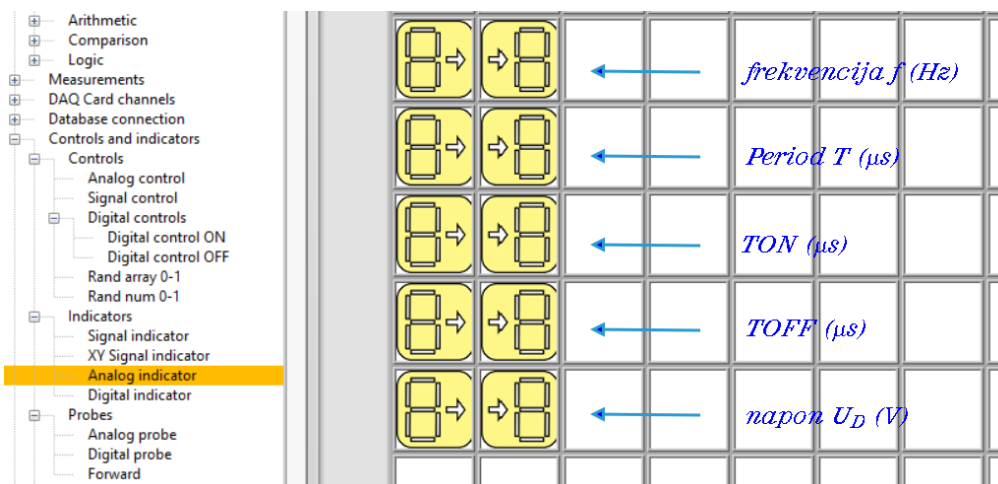
Pritiskom na <OK> tipku vraćamo se na radnu plohu platforme (slika 5.6).



Slika 5.6: Izgled ekrana nakon postavljanja <Analog indicator> indikatora

Korak 3: Unos vremena T , T_{ON} , T_{OFF} srednje vrijednosti napona U_D

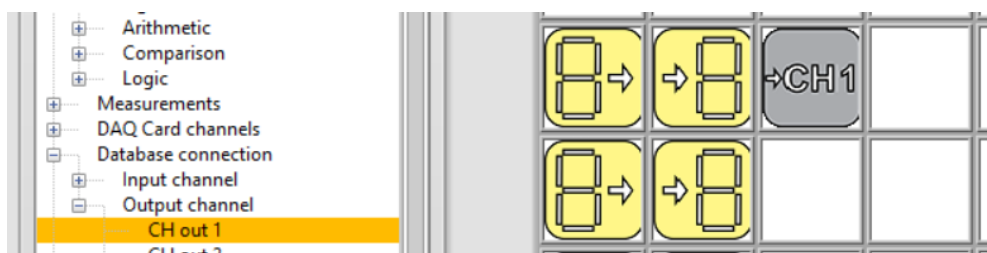
Ponovite proceduru za unos T , T_{ON} , T_{OFF} i U_D . Postavljanjem nove <Analog control> kontrole i novog <Analog indikator> indikatora na radnu plohu za svaku od navedenih veličina, Corela platforma će ih zapamtiti za daljnju uporabu (slika 5.7)



Slika 5.7: Prikaz zadatka unosa podataka platforme CORELA

Korak 4: Slanje podataka na edukacijsku platformu

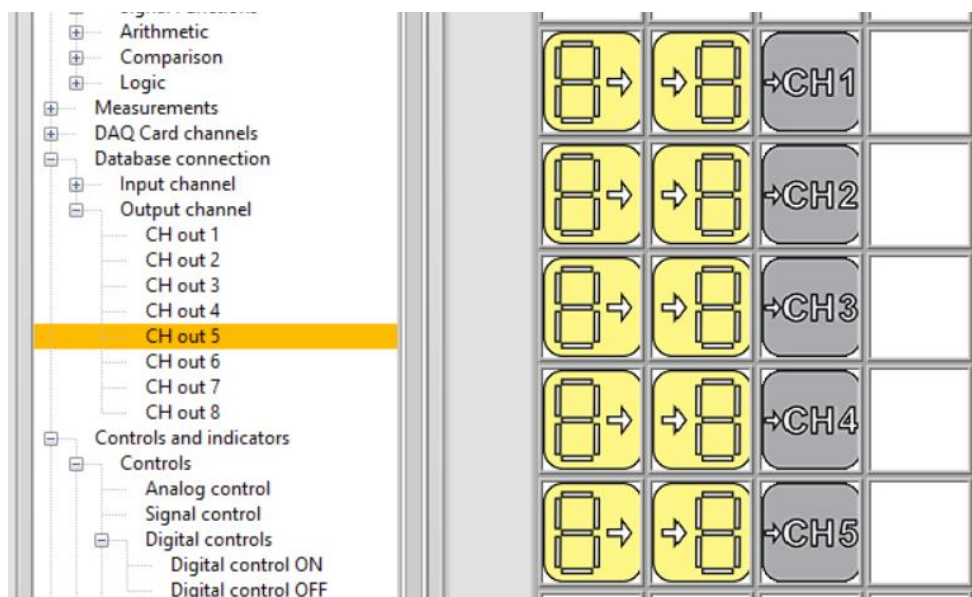
Iz menia [Functions list->Database connection->Output channel] izabrati <CH out 1> funkciju za slanje podatka o frekvenciji.





Slika 5.8 Slanje podataka na edukacijsku platformu

Svi ostali podaci se šalju na edukacijsku platformu ostalim izlaznim kanalima (<CH out2>, <CH out3>, ...) (slika 5.9)



Slika 5.9: Izgled ekrana nakon slanja rezultata na edukacijsku platform

Nakon završetka zadatka, otvori „chat room“.

Usporedi i komentiraj rezultate dobivene na tri načina:

1. Računskim putem (učenik 1)
2. Simulacijom (učenik 2)
3. Mjerenjem (učenik 3)

Multimedijalni video link:

<https://www.youtube.com/watch?v=DWw8bTcjo8s>

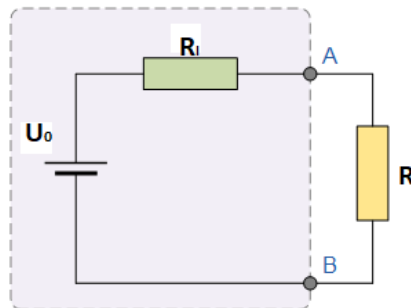


VII Prilagodba trošila na maksimalnu snagu izvora

1. Uvod

Spajanjem otpora opterećenja R preko stezaljki izvora napajanja, impedancija opterećenja će se razlikovati od stanja otvorenog kruga do stanja kratkog spoja, što rezultira da snaga opterećenja ovisi o impedanciji realnog izvora energije. Kako bi se na otpor opterećenja mogla prenijeti najveća moguća snaga, mora se "uskладiti" s impedancijom izvora napajanja i to je osnova maksimalnog prijenosa snage.

Teorem o maksimalnom prijenosu snage korisna je metoda analize krugova kako bi se osiguralo da se maksimalna količina snage disipira na otporu opterećenja R kada je vrijednost otpora opterećenja točno jednaka otporu R_i izvora energije. Odnos između impedancije opterećenja i unutarnje impedancije izvora energije odredit će snagu na opterećenju. Razmotrite sklop u nastavku.



Slika 1.1: Nadomjesna shema realnog izvora sa opterećenjem

Primjer maksimalnog prijenosa snage

$$U_0 = 100 \text{ V}$$

$$R_i = 25 \Omega$$

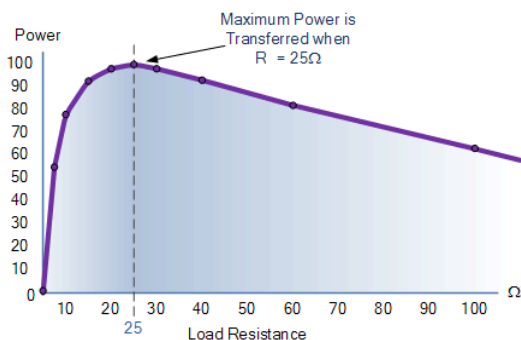
R je promjenjiv u intervalu $0 - 100\Omega$.

Primjenom Ohmovog zakona:

$$I = \frac{U_0}{R+R_i} \quad \text{and} \quad P = I^2 R; \quad P = \frac{U_0^2}{(R+R_i)^2} R$$

Sada možemo ispuniti tablicu koja prikazuje vrijednosti struje i snage za različite vrijednosti otpora opterećenja.

$R (\Omega)$	$I (\text{A})$	$P (\text{W})$
0	4.0	0
5	3.3	55
10	2.8	78
15	2.5	93
20	2.2	97
25	2.0	100
30	1.8	97
40	1.5	94
60	1.2	83
100	0.8	64



Slika 1.2: Graf ovisnosti prenesene snage o otporu opterećenja



2. Proračun prenesene snage (učenik 1)

Učenik će analizirati električni krug sastavljen od realnog izvora i promjenjivog otpora (slika 2.1).

Zadatak: izračunati snagu P disipiranu na otporu R prema tablici. Parametari izvora su npr.

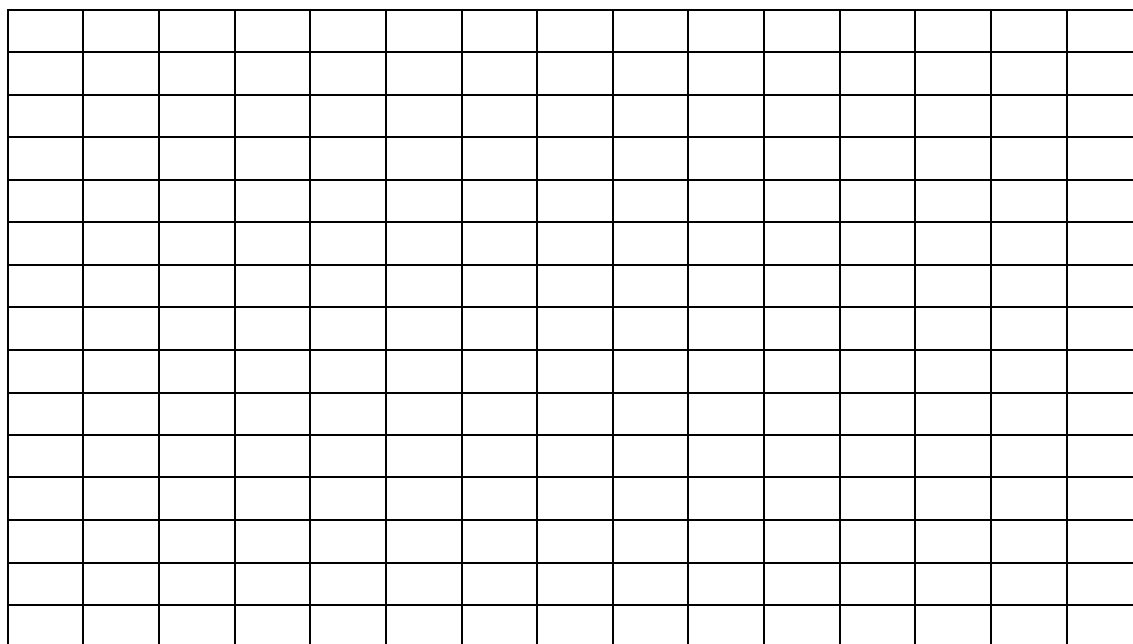
$U_0=12\text{V}$ i $R_i=10\Omega$ (ove podatke daje učenik 3 koji vrši mjerenja sa realnim izvorom).



Slika 2.1: Strujni krug za analizu prijenosa maksimalne snage

$R (\Omega)$	$P (W)$
1	
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
16	
20	
24	
30	
40	
60	
100	

Drugi zadatak je nacrtati graf ovisnosti snage P i otpora R .





2.1 Usporedba rezultata

Prijaviti se na CORELA platformu za slanje podataka. Vrijednosti maksimalne snage i odgovarajućeg otpora unijeti i poslati na edukacijsku platformu (vidi upute u poglavlju 5).

Usporedi dobivene vrijednosti s onima dobivenim od učenika 2 i 3.








3. Simulacija prijenosa maksimalne snage (učenik 2)

U ovom dijelu vježbe izvodimo simulaciju idealnog električnog kruga.

Cilj simulacije je provjera teorijskih izračuna iz poglavlja 2. Simulacija električnog kruga realizira se s virtualnom platformom CORELA. Stoga ćemo izraz koji slijedi prikazati blok dijagramom.

$$P = \frac{U_0^2}{(R + R_i)^2} R$$

Pokreni aplikaciju i izaberi Analog control koja se nalazi na listi funkcija u meniju Controls and indicators->Controls. Snimi analognu vrijednost 12 ($U_0=12V$). Na drugu poziciju umetni funkciju Square (Math->Arithmetic). Nastavi pratiti upute kako slijedi.

1.		Controls and indications->Controls->Analog control	Snimi analognu vrijednost $U_0=12V$.
2.		Math->Arithmetic-> Square	
3.		Controls and indications->Probes->Analog probe	Daje vrijednost U_0^2 .
4.		Controls and indications->Controls->Signal control	Vrijednost otpora R .
5.		Math->Arithmetic-> Multiply	
6.		Controls and indications->Indicators->Signal indicator	Rezultat $U_0^2 \times R$.
7.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local variables 1 – vrijednost brojnika Local variables2 – vrijednost otpora R



Na taj smo način dobili vrijednosti u brojniku.



Slika 3.1: Raspored funkcija

Slijedi uputa za blok dijagram nazivnika.

1.		Controls and indications->Local variables->Read-VAR	Daje vrijednosti - local variables 2.
2.		Controls and indications->Controls->Analog control	Snimi vrijednost $R_i=10\Omega$
3.		Math->Arithmetic-> Add	
4.		Controls and indications->Indicators->Signal indicator	1. Daje rezultat $R+R_i$ 2. Daje rezultat $(R+R_i)^2$
5.		Math->Arithmetic-> Square	
6.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local variables 3 – vrijednosti nazivnika

Na taj smo način dobili vrijednosti nazivnika.

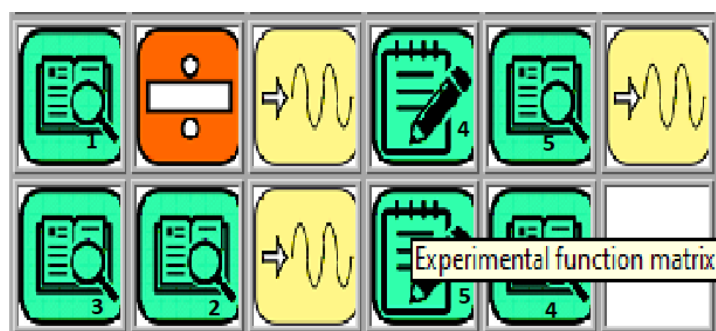


Slika 3.2: Raspored funkcija

Na kraju dijeljenjem dviju vrijednosti, brojnika i nazivnika, dobivamo rezultat i karakteristiku snage P u ovisnosti o otporu opterećenja R .



1.		Controls and indications->Local variables->Read-VAR	Iščitava vrijednosti - local variables 3 local variables 1 local variables 2
2.		Math->Arithmetic-> Divide	
3.		Controls and indications->Indicators-> Signal indicator	1. Vrijednost P 2. Vrijednost R
4.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local variables 4 – vrijednosti P Local variables 5 – vrijednosti R
5.		Controls and indications->Indicators->XY Signal indicator	Grafički prikazuje ovisnost $P = f(R)$



Slika 3.3: Raspored funkcija.

3.1 Usporedba rezultata

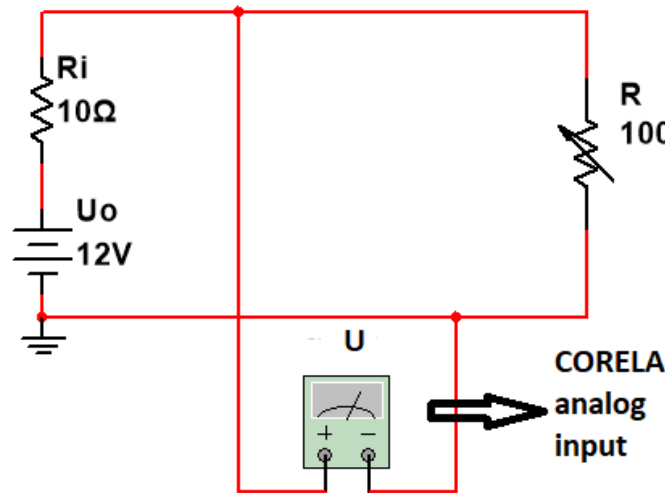
Prijaviti se na CORELA platformu za slanje podataka. Iz grafa očitati vrijednost maksimalne snage i otpora pri kojoj se postiže te podatke unijeti i poslati na edukacijsku platformu (vidi upute u poglavlju 5).

Usporediti dobivene vrijednosti s onima dobivenim od učenika 1 i 3.



4. Praktična realizacija i mjerenje (učenik 3)

Ovaj dio vježbe povezan je s praktičnom realizacijom električnog kruga i izvođenjem realnih mjerenja. Cilj je testirati maksimalni prijenos snage u realnim uvjetima. Za izvedbu eksperimenta koristimo shemu prikazane na sljedećoj slici:



Slika 4.1: Shema spoja za izvođenje praktičnog mjerenja.

Imamo naponski izvor poznatih parametara (U_0 , R_i) i promjenjivi otpor R . Mijenjajući vrijednosti otpora R odredit ćemo kada dolazi do maksimalnog prijenosa snage. R i R_i čine naponsko djelilo, pri čemu vrijedi izraz:

$$\frac{R}{R_i} = \frac{U}{U_{R_i}} = \frac{U}{U_0 - U}$$

Dakle mjerenjem napona možemo izračunati:

$$R = \frac{R_i \times U}{U_0 - U} \text{ i konačno snagu } P = \frac{U^2}{R}$$

Napon U unijet ćemo u aplikaciju Corela pomoću funkcije analog input (ukoliko raspolažemo akvizicijskom karticom/ DAQ card) u suprotnom koristimo voltmetar i funkciju Signal control, te ćemo izvesti proračun kako slijedi:

Proračun otpora R .

1.		Controls and indications->Controls->Analog control	1. Snimi vrijednost $U_0=12V$ 2. Snimi vrijednost $R_i=10\Omega$ 3. Snimi vrijednost of R
2.		DAQ card channels->Analog input	Mjereni napon U



3.		Math->Arithmetic-> Subtract	
4.		Math->Arithmetic-> Multiply	
5.		Math->Arithmetic-> Divide	
6.		Controls and indications->Probes->Analog probe	1. Vrijednost U_0-U 2. Vrijednost $R_i \times U$ 3. Vrijednost U^2
7.		Math->Arithmetic-> Square	
8.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local variables 1 – vrijednost nazivnika Local variables 2 – vrijednost brojnika Local variables 3 – vrijednost R Local variables 4 – vrijednost P



Slika 4.2: Proračun otpora R.



Slika 4.3: Proračun snage P.



4.1 Usporedba rezultata

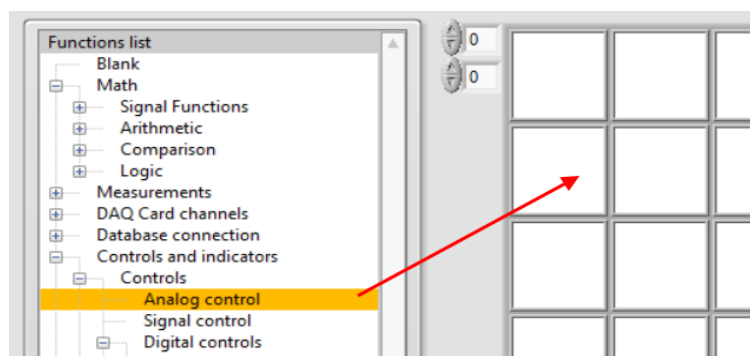
Prijaviti se na CORELA platformu za slanje podataka. Vrijednosti maksimalne snage i pripadajućeg otpora unijeti i poslati na edukacijsku platformu (vidi upute u poglavlju 5).

Usporedi dobivene vrijednosti s onima dobivenim od učenika 1 i 2.

5. Procedura za upis podataka i slanje na edukacijsku platformu

Korak 1: Upis i spremanje podataka

Iz menia popisa funkcija < Functions list->Controls and indicators->Controls> izabrati <Analog control> i lijevim klikom miša postaviti je u prazno polje radne plohe.

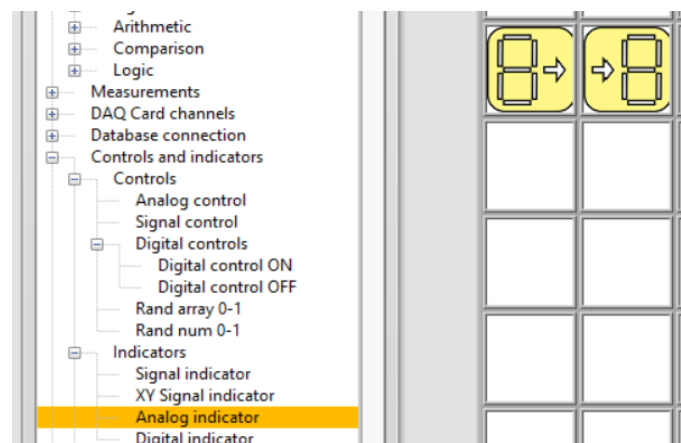


Slika 5.1: Postavljanje <Analog control> funkcijel

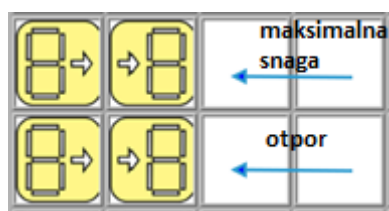
Otvora se skočni prozor gdje unosimo vrijednost koju želimo postaviti na CORELA platformu. Pošto imamo dva podatka, maksimalnu snagu i vrijednost otpora, istu funkciju koristimo dva puta.

Korak 2: Pregled spremljenih podataka

Postavljanjem funkcije <Analog indikator> u polje desno od već postavljene <Analog control> (slika 5.2) podatak unešen u Corela platformu je na raspolaganju.



Slika 5.2: Izgled zaslona nakon postavljanja funkcije <Analog indicator>



Slika 5.3: Prikaz zadatka unosa podataka

Korak 3: Slanje podataka na edukacijsku platformu

Iz menia < Functions list->Database connection->Output channel> izabrati <CH out 1> za prvi podatak odnosno <CH out 2> za drugi podatak.



Slika 5.4: Slanje podataka na edukacijsku olatformu

Video link:

https://youtu.be/HE4i_2nEbDc